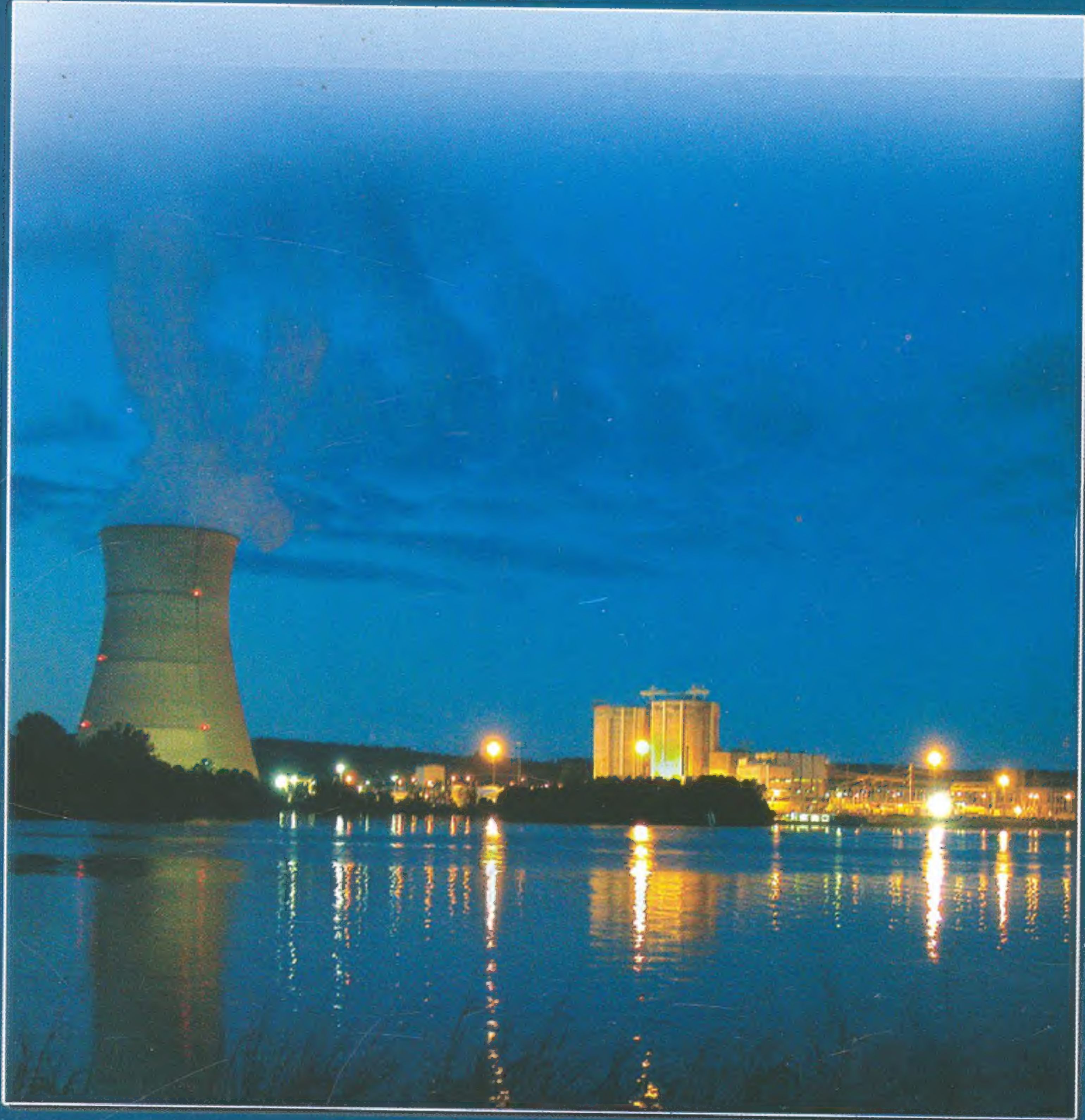


العلوم النووية وتطبيقاتها



مهندس استشاري محمد أحمد السيد خليل

المركز الثقافي للنشر

العلوم النورية وطبقاتها

مهندس استشاري
محمد أحمد السيد خليل

الدار الثقافية للنشر

خليل ، محمد أحمد السيد .
العلوم النووية وتطبيقاتها .
محمد أحمد السيد خليل - ط ١ - القاهرة : الدار الثقافية للنشر ، ٢٠٠٨ .
٢٨٠ ص ، ٢٤ سم
تدمك ٦ - ٢٤٠ - ٣٣٩ - ٩٧٧
رقم الإيداع بدار الكتب المصرية ١٧٨٧ / ٢٠٠٨
١ - الطاقة النووية .
العلوم النووية وتطبيقاتها .
٥٣٩,٧٢

الطبعة الأولى

١٤٢٩ هـ / ٢٠٠٨ م

كافة حقوق النشر والطبع محفوظة للنشر - الدار الثقافية للنشر - القاهرة

صندوق بريد ١٣٤ بانوراما ١١٨١١

تليفاكس ٢٤٠٢٠٥١٥ - ٢٤١٧٢٧٦٩

Email: info@dar-althakafia.com

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

على الدول العربية ومن بينها مصر أن تمارس حقوقها المشروعة وأن تدخل معترك التنمية الشاملة المسيرة للعصر وفي الإطار القانونى الدولى الذى يعطى الحق فى الحصول على طاقة نووية بالتعاون مع الدول النووية ووفقا لبروتوكولات التقنية والتحقيق التى تطبقها الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وبعد قيام المجلس الوزارى للجامعة العربية بدعوة جميع الدول العربية إلى الإسراع فى تنمية قدراتها النووية وإنشاء هيئات ومؤسسات تعنى بالاستخدام للطاقة النووية وتدریس العلوم النووية وتطبيقاتها فى المراحل الجامعية وما قبل الجامعية.

وبعد أن زالت المخاوف من حوادث المفاعلات النووية نتيجة التطورات العلمية والتقنية الهائلة فى المحطات كما أن المحطات النووية هى الأكثر أماناً للبيئة حيث لا تسبب تصاعد الغازات الملوثة الضارة بالصحة العامة أو ذات التأثير على تغيرات المناخ. وقد شمل تطوير المحطات النووية زيادة عمرها الافتراضى من ٣٠ سنة إلى ٩٠ سنة.

وفى مواجهة التقدم الذى حققته بعض دول المنطقة فى ظل جمود الموقف العربى فى مجال استخدامات الطاقة النووية والذى قد يؤدى إلى أضعاف العالم العربى وتهميش مصالحه وانكساره على النطاق الإقليمى. وكذلك لما تمتلكه دول العالم الصناعية وكذلك بعض دول العالم الثالث من محطات نووية لإنتاج الطاقة الكهربائية بما يصل إلى حوالى ٤٥٠ محطة، حيث إنتاج فرنسا من الطاقة الكهربائية باستخدام المحطات النووية يصل إلى ٨٠٪.

واستخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء هو البديل المناسب للوقود الحفرى (البتروى، الغاز، الفحم)، وذلك لمواجهة نضوب الاحتياطى من هذا الوقود وذلك خلال عدة عقود زمنية قادمة.

وليست المشكلة فى شراء محطات نووية تسليم مفتاح لتوليد الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر، تديرها شركات أجنبية أم وطنية لتحقيق هدف تجارى، لا يعطى فرصة حقيقية لإدخال العلوم النووية وتطبيقاتها فى مجالات الحياة فبالإضافة إلى الطاقة

الكهربية وكذلك تحلية مياه البحر وتلك هما الدعائم الأساسية لتنمية الصحارى فى مصر وفى البلاد مناحى الحياة فى الطب والزراعة (لحفظ الحاصلات الزراعية من التلف) وفى الصناعة وفى التأريخ لدراسات الحفريات وفى دراسات المياه الجوفية وكذلك فى دراسات وأبحاث الخامات الطبيعية.. الخ.

ولذلك فإن معرفة مصادر خامات الوقود النووى وكذلك دورة تصنيع وتشغيل الوقود النووى اللازمة لتشغيل محطات الطاقة يعتبر من الأساسيات حتى لا يظل إنتاج الوقود النووى واستخداماته حكراً على دول تستخدمه أداة للضغط والابتزاز السياسى ونظراً لأهمية نشر الثقافة العلمية فى مجال العلوم النووية وتطبيقاتها. فقد راعينا فى إعداد هذا الكتاب تبسيط العلوم بما يمكن من لديه الأساسيات الأولية فى مجال الفيزياء والكيمياء لاستيعاب المحتوى بسهولة ويسر، وإدراك مدى تعدد وتشعب العلوم والتطبيقات فى هذا المجال.

وقد تم إعداد هذا الكتاب فى بابين.

حيث شمل الباب الأول العلوم النووية وشمل الباب الثانى التطبيقات للعلوم النووية. وفى الباب الأول تم استعراض مراحل الأبحاث فى مجال العلوم الإشعاعية والنووية من نهاية القرن التاسع حتى منتصف القرن العشرين. وتم تناول أساسيات البناء الذرى والنظرية الكمية والخاصية الإشعاعية، وتم استعراض الأبحاث نحو الانشطار النووى، والأجسام الأساسية ونواة الذرة والنظائر والكشف عن الإشعاع وقياس الإشعاع والتحويلات النووية وتخليق العناصر وعلوم الانشطار النووى والاندماج النووى ثم اوضحنا استخدام العلوم النووية لإشعاعات جاما والنفائثر.

أما الباب الثانى والذى تضمن التطبيقات للعلوم النووية وكيفية التعامل مع الوقود ومراحل إعدادة والموضوعات المفاعلات النووية وأنواعها واستخداماتها ومتطلباتها ومكوناتها. وتوليد الطاقة الكهربائية بالمفاعلات النووية وكذلك تحلية المياه المالحة بطريقة النظام المجمع (Combined System).

وتناول دورة الوقود النووى وتصنيعه وإعادة استخدام المستنفذ.

وتناول موضوع الاندماج النووى وإنتاج الماء الثقيل.

ثم دراسة بعنوان الطاقة النووية نعمة أم نقمة حيث تم الإشارة إلى حوادث المفاعلات النووية وأسباب حدوثها وكذلك مكونات مواد التدمير النووية. والتلوث الإشعاعى والوقاية منه.

إن العلوم النووية واستخداماتها شأنها شأن باقى العلوم الحديثة مثل علوم الفضاء...
لم تعد معرفتها حكرا على الخاصة والعلماء فقط بل أصبحت من المكونات الأساسية
للثقافة العلمية للمجتمع والتي تعطى للمجتمع الأدوات القادرة على معرفة متطلبات
احتياجاته وتحقيقها عن علم ومعرفة.

وقد كان الدافع لإعداد هذا الكتاب هو إثراء المكتبة العربية بالعلوم المعرفية عن الطاقة
النووية واستخداماتها وكذلك نشر الوعي العلمى والثقافى فى هذا المجال وتعريف
الشباب بالجهود التى بذلها العلماء حتى الوصول إلى ما تحقق.
ونرجو من الله التوفيق.

مهندس استشارى
محمد أحمد السيد خليل

القاهرة فى الأول من محرم ١٤٢٩هـ
الموافق ٩ يناير ٢٠٠٨ م

الفصل الأول

البناء الذرى، النظرية الكمية والخاصية الإشعاعية

Atomis Structure, The Quantum Theory And Radioactivity

١- مقدمة:

إن اكتشاف الإليكترون فى نهاية القرن التاسع عشر كان نقطة البداية نحو عصر جديد من البحث العلمى الذى أعطى لعلماء الطبيعة التبصر نحو طبيعة وبناء ذرات المادة. ولذلك فإنه تبرز أهمية تطور الأفكار نحو البناء الذرى ووصف بعض التجارب الهامة التى أكدت ذلك.

أ - النظرية الإليكترونية والبناء الذرى:

Electronic Theory, Atomic Structure.

فى نهاية القرن التاسع عشر أجرى (Sir - J - Thomson) بعض التجارب بواسطة الكهرباء خلال أنبوب محتويات على الهواء عند ضغط منخفض جدا. بعد هذه الأبحاث وصل إلى نتيجة أن الإليكترونيات السالبة تتكون من جسيمات صغيرة جدا والتى سميت الإليكترونيات. فى الست سنوات التالية، بدا واضحا أن تلك الإليكترونيات السالبة تكون جزء حقيقى من الذرات (Atoms) التى تتكون منها كل المواد. والآن أصبح الإعتقاد أن الذرة لها نواه (Nucleus) مركزية والتى تتكون من جسيمات مدمجة بإحكام والتى تسمى النيوترونات (Neutrons)، البروتونات (Protons) حيث الإليكترونات حولها عند مستويات طاقة مختلفة وذرات كل المواد ذات نظام واحد لبنائها، ولكن تختلف الواحدة عن الأخرى بعدد البروتونات والنيوترونات الموجودة فى النواه.

فى الماضى استخدمت فكره دوران الإليكترونات حول النواه مثل الكواكب حول الشمس، ولكن النظرية الرياضية المرتبطة بالطاقة، الحركة ووضع الإليكترونات قد تطورت بحيث أصبحت هذه الفكرة البسيطة غير مقبولة، حيث أمكن رسم نماذج وصور للذرات ولكن توضيح ذلك شديد التعقيد ويصعب تبسيطه.

ب - الإليكترونات والبروتونات: (Electrons And Protons):

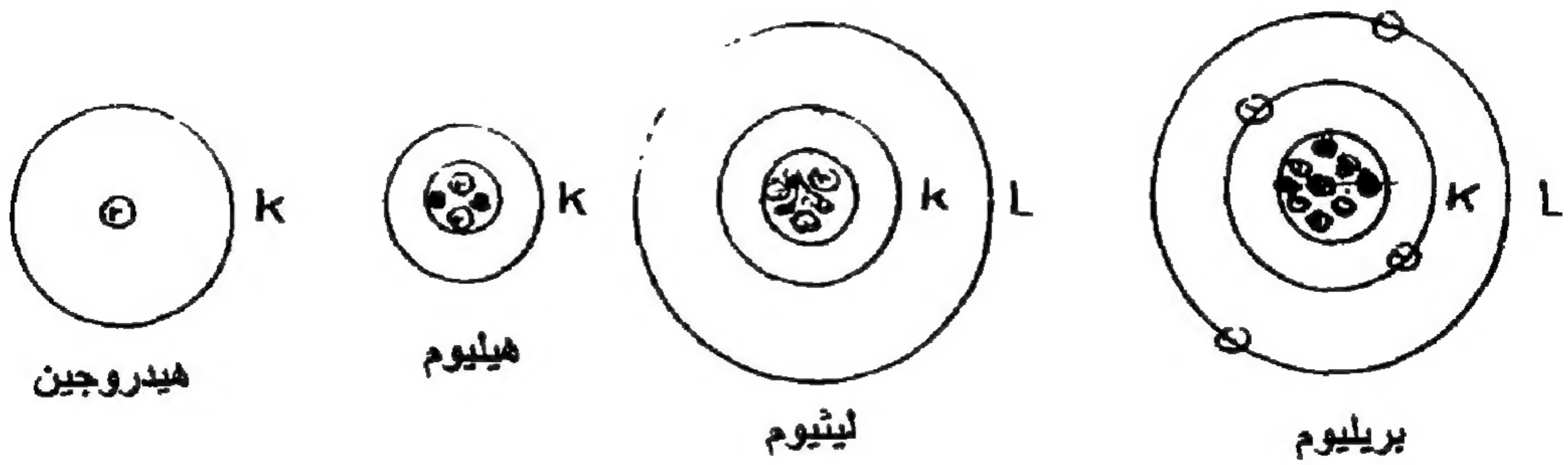
من وجهة النظر الكهربائية، البروتونات فى النواة لها شحنة موجبة تساوى شحنة الإليكترون (السالبة). كذلك عدد البروتونات فى الذرة يساوى عدد الإليكترونات، حيث

أن الذرة ككل تكون متعادلة كهربياً. لذلك فإن الكهرباء ليست شيئاً آخر يختلف عن المادة، ولكنها جزء من المادة التي منها الذرات. عندئذ فإننا نرى أنه عند إمكان انفصال الإلكترونات من ذراتها، وعند حدوث ذلك لعدد من الذرات في جسم ما فإن الجسم ككل سيصبح ذو شحنة موجبة. على الجانب الآخر، إذا اكتسب الجسم إلكترونات إضافية فإنه يصبح ذو شحنة سالبة.

ج- ذرات رزرفورد - بوهر : (The Rutherford - Bohr Atom) :

الشكل القديم للبناء الذري الذي كان قد اقترحه إيرنست رزرفورد، نيلز بوهر. فقد نظروا إلى الذرة كما لو كانت النظام الشمسي حيث الكواكب هي الإلكترونات والشمس هي النواة الصغيرة الثقيلة. يوجد ما يزيد عن مائة عنصر بعضها تم تخليقه صناعياً. أخف العناصر، هو الهيدروجين الذي له إلكترون واحد مداري (Orbital)، وأثقل العناصر الطبيعية هو اليورانيوم والذي له ٩٢ إلكترون.

نماذج رزرفورد - بوهر للذرات الأربع الأخرى موضح في الشكل (١/١).



شكل (١/١) نماذج الذرات لرزرفورد - بوهر
 (-) إلكترون
 (+) بروتون
 (●) نيوترون

ذرة الهيدروجين هي الأبسط من بين الجميع، تتكون نواتها من البروتون والذي هو جسم ذو أصغر وحده كهربية موجبة أمكن عزلها، وهذا يساوي كمية الشحنة السالبة للإلكترون المداري، حيث يعمل كليهما معاً كمجموع من التعادل الكهربى. وقد افترض بوهر أن قوة الجذب الكهربائية بين الإلكترون والنواة حافظت على الإلكترون في مداره بنفس الطريقة التي تمسك بها قوة الجاذبية الكواكب في مساراتها حول الشمس.

الذرة التالية في الثقل هي ذرة الهيليوم (Helium) والتي لها نواة تحتوى على اثنين من البروتونات مع اثنين آخرين من الجسيمات المتعادلة والتي تسمى النيوترونات

(Neutrons) ، هذا بالإضافة إلى عدد اثنين إلكترون مداريين. التالى هو معدن أبيض لين، الليثيوم (Lithium)، الذى فيه يدور ثلاث إلكترونيات حول النواة التى تحتوى على ثلاث بروتونات وأربع نيوترونات. يلى الليثيوم، معدن آخر هو البريليوم وله أربع مدارات إلكترونية وهكذا حتى نصل إلى (Kurchatvium) ذو العمر القصير والذى له ١٠٤، الملحق (أ) بيان بالعناصر.

د - الأغلفة الإلكترونية : (Electron Shells) :

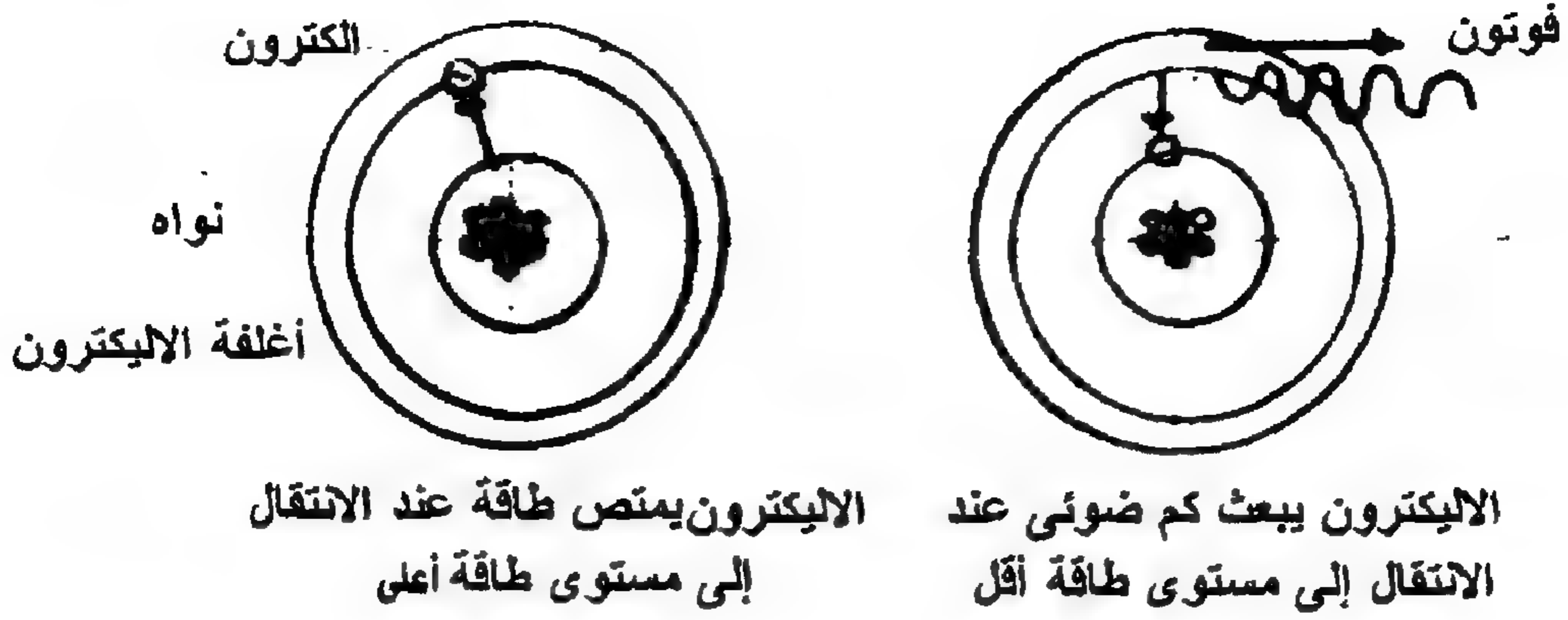
الإلكترونيات المدارية تدور باستمرار حول النواة بسرعات عالية جدا فى مدارات التى تغير إتجاهاتها فى الفضاء حيث مجموعة إلكترونيات تقتفى خارج الأغلفة منفصلة ذلك على المسارات المقيدة فى مستوى واحد. طبقا لحجم الذرة فإنه يمكن أن يكون لها حتى سبعة أغلفة (أو مدارات) محددة ذات أقطار مختلفة والتى يرمز لها بالرموز (P-Q-O-N-M-L-K)، يوجد حد لعدد الإلكترونات التى تشغل أي غلاف (مدار). فمثلا الغلاف الداخلى K لا يمكنه استيعاب والإمسك بأكثر من اثنين من الإلكترونات، الثانى يكون كاملاً عند ما يكون لديه ثمانية، ولكن الثالث يمكنه أن يمسك بحتى ثمانية عشر إلكترون وهكذا.

حجم الذرة ككل هو الحجم المحتجزة بواسطة غلافها الخارجى للإلكترونات. النواة التى فيها يكون التركيز الكبير للكتلة هى مجرد بقعة (Speck) والتى قطرها فقط يتراوح من $1 \div 10000$ إلى $1 \div 100000$ من ذلك للذرة كلها. الإلكترونات هى غالبا ذات كتلة مهملة، حيث أن كل إلكترون له كتلة تساوى فقط $1 \div 1836$ من تلك للبروتون (نواة الهيدروجين). لذلك فإنه يتضح أن الذرة تحتوى على فضاء خالى جدا (Far Empty Space) أكثر من المادة الصلبة.

هـ - كيف أن الذرة تبعث الضوء : (How An Atom Gives Out Light) :

عند درجات الحرارة العادية تكون أقطار مختلف الأغلفة الإلكترونية ثابتة والإلكترونات فيها تمتلك كمية ثابتة من الطاقة. فى هذه الظروف يقال أن الذرة فى أدنى حالة طاقتها أو فى حالة الهمود (Ground State). إذا أعطيت للذرة بعض الطاقة الخارجية، كما فى حالة تسخين المادة أو فى حالة قذف (Struck) الذرة بواسطة أيون سريع التحرك فى أنبوبة تفريغ كهربية، عندئذ فإن واحد أو أكثر من الإلكترونات يمكن أن ينتقل من مستوى طاقة معين إلى مستوى طاقة أعلا. فى هذه

الحالة يقال أن الذرة تم استثارتها (Excited) ولكنها لا تظل طويلا في هذه الحالة إلا ليكترونات المشتتة تعود في الحال إلى مستويات الطاقة الأقل، وعندئذ، فإنها تبعث طاقة في شكل نبضات موجه كهرومغناطيسية تسمى وحدات الكم الضوئي (Photons) شكل (١/٢)



شكل (١/٢) آلية الإشعاع من الذرة

لذلك فإن الضوء المنبعث بأى نوع من المصابيح يتكون من مليارات الكم الضوئي الصغير المنبعثة من خارج الذرات المثارة عند عودتها إلى حالات مستوى طاقتها المنخفض.

مثل هذه الآلية التى بها تعطى الذرات ليس فقط الضوء المرئى ولكن كذلك الأشعة فوق البنفسجية، وأشعة أكس، والأشعة تحت الحمراء. طول موجه الأشعة المنبعثة يتوقف ببساطة على المستويين المعينين للطاقة الذى يحدث انتقال بينهما للإليكترونات.

و- الإشعاع والنظرية الكمية : (Radiation And The Quantum Theory)

ظاهرة وجود النواه فى الذرة جاءت من إيرنست رزرفورد، وشرح عملية الإشعاع من نيلز بوهر، لذلك كان المصطلح ذرة رزرفور - بوهر.

نظرية بوهر كما تم الإشارة إليها مسبقا، هى تطبيق للنظرية الكمية للطاقة التى استنبطها عالم الطبيعة الألمانى (Max planck)، الذى طورها بغرض شرح الملاحظات التجريبية المتعلقة بإشعاع الطاقة من الأجسام السوداء (Black Bodies). حيث وصل إلى نتيجة أن الطاقة لا تسرى باستمرار من الأجسام الساخنة ولكن تأتى من مجموعات صغيرة تسمى الكم أو الكم الضوئي (Quanta Or Photons). نظرية (Planck) لكم

صار لها نجاح كبير فى عالم الطبيعة ، فقد أسست مبدأ أن الطاقة فى كل الأشكال تكون منفصلة وغير مترابطة (Discrete) ، أى أنها تحدث فقط فى وحدات منفردة وقائمة بذاتها (Individual units). بمعنى آخر فإن الطاقة مثل المادة ذات طبيعة ذرية.

ملاحظة : يجب عدم الخلط مع النظرية الكمية التى توضح أن توصيل الحرارة خلال مادة معينة بواسطة حزمة اهتزاز ميكانيكى والتى تسمى (Phonons) وهى الكم الحرارى من النسق البلورى مع الفوتونات (Photons) وهى الكم الضوئى والذى هو اهتزازات كهرومغناطيسية.

ز- التأثير الضوئى الكهربى (The Photo Electric Effect) :

فى عام ١٨٨٨ إكتشف (Wilelm Hall Wachs) أن الضوء الفوق بنفسجى يرى على لوح الزنك النظيف المتصل بقضيب موجب الشحنة من شريحة الذهب للجهاز لكشف عن وجود الشحنة الكهربائية (Electroscope) ، حيث يفقد الإليكترو سكوب ببطئى شحنته. وإن كان السبب فى ذلك لم يكن مفهوما فى ذلك الوقت ولكن الآن تأكد أن الإليكترونات كانت تنبعث من لوح الزنك. تلك سميت الإليكترونات الضوئية (Photo Electrons) وعرفت هذه الظاهرة بالتأثير الضوئى الكهربى (Photo Electric Effect) .

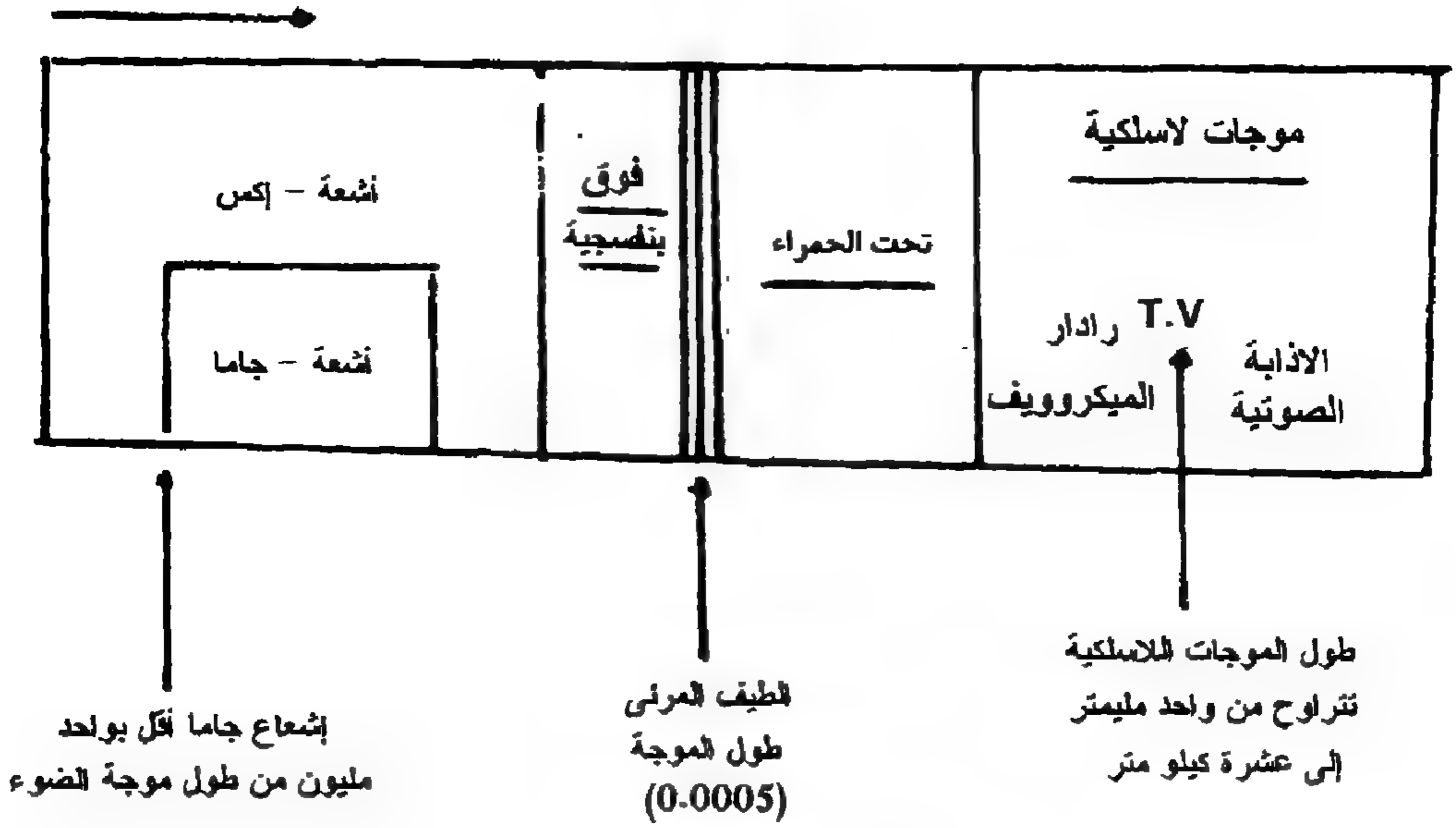
٢- شرح التأثير الضوئى الكهربى بالنظرية الكمية :

بعد تجربة (Hallwach's) فقد وجد أن معادن أخرى تسلك نفس الطريق بالضوء الفوق بنفسجى ، هذا بالإضافة إلى أن البعض أظهر التأثير بالضوء المرئى. فمثلا معدن روبيدوم (Rubidium) تستجيب للضوء الأحمر.

استخدمت أطوال موجات مختلفة على كل معدن تم اختباره وقد ظهر أن الإليكترونات الضوئية (Photo Electrons) قد انبعثت فقط إذا كان طول موجه الضوء المستخدم أقل من قيمة حرجة معينة.

ومن وجهة نظر التردد (Frequ'ency) ، يعنى أن تردد الضوء يجب أن يكون أعلى من قيمة حرجة معينة والتى تسمى القيمة العتبية (Threshold Valne) لمعدن معين شكل (١/٣) الطيف الكهرومغناطيسى.

زيادة طول الموجة - خفض التردد



شكل (١/٣) الطيف الكهرومغناطيسى

بالإضافة. إلى أنه حتى أضعف إضاءة، حيث ترددها كان يساوى أو أعلى من القيمة العتبية، ولكن أقل من هذا التساوى. فإن أقصى كثافة ضوئية فشلت فى إحداث أى تأثير.

وقد كان ذلك محل نقاش حتى عام ١٩٠٥ حيث قدم شرح بواسطة ألبرت آينشتين على أساس النظرية الكمية لبلاانك.

لقد أوضح بلاانك أن كمية الضوء المرسله بواسطة كم ضوئى (Photo) من الإشعاع كانت تتناسب مع تردده. لذلك، فإن الكم الضوئى الفوق بنفسجى (Ultraviolet Photons) بتردده العالى جدا له طاقة أكبر من الكم الضوئى للضوء المرئى.

لقد اقترح أنشتين طبقا للمعدن المستهدف، فإن الإلكترون يحتاج إلى أدنى كمية معينة من الطاقة لتحرره من المعدن وأنه يجب أن يستقبل هذه الطاقة فى كم ضوئى منفرد (Sinolo Quqntum)، أو فى شكل حزمة (Lump). وسوف لا يقبل عديد من كم أصغر كبديل - طبيعى سوف يقبل كم أكبر من القيمة الحرجة، حيث فى هذه الحالة الاتزان للطاقة التى تركت تقوم ببساطة بإعطاء طاقة حركية ضوئية إلكترونية (photo electron Energy) عند قذفها.

لقد قام أينشتين بوضع هذه الفكرة فى شكل معادلة.

طاقة الكم الضوئي الساقط = الطاقة اللازمة لاستخلاص الإلكترون من المعدن + أقصى طاقة مركبة للإلكترون المقذوف، بعد ذلك تم تدقيق وإثبات معادلة أينشتاين بالتجارب على العديد من مختلف المعادن بواسطة روبرت ميليكان في أمريكا، وهذه واحدة من أهم التطبيقات الكثيرة للنظرية الكمية للإشعاع.

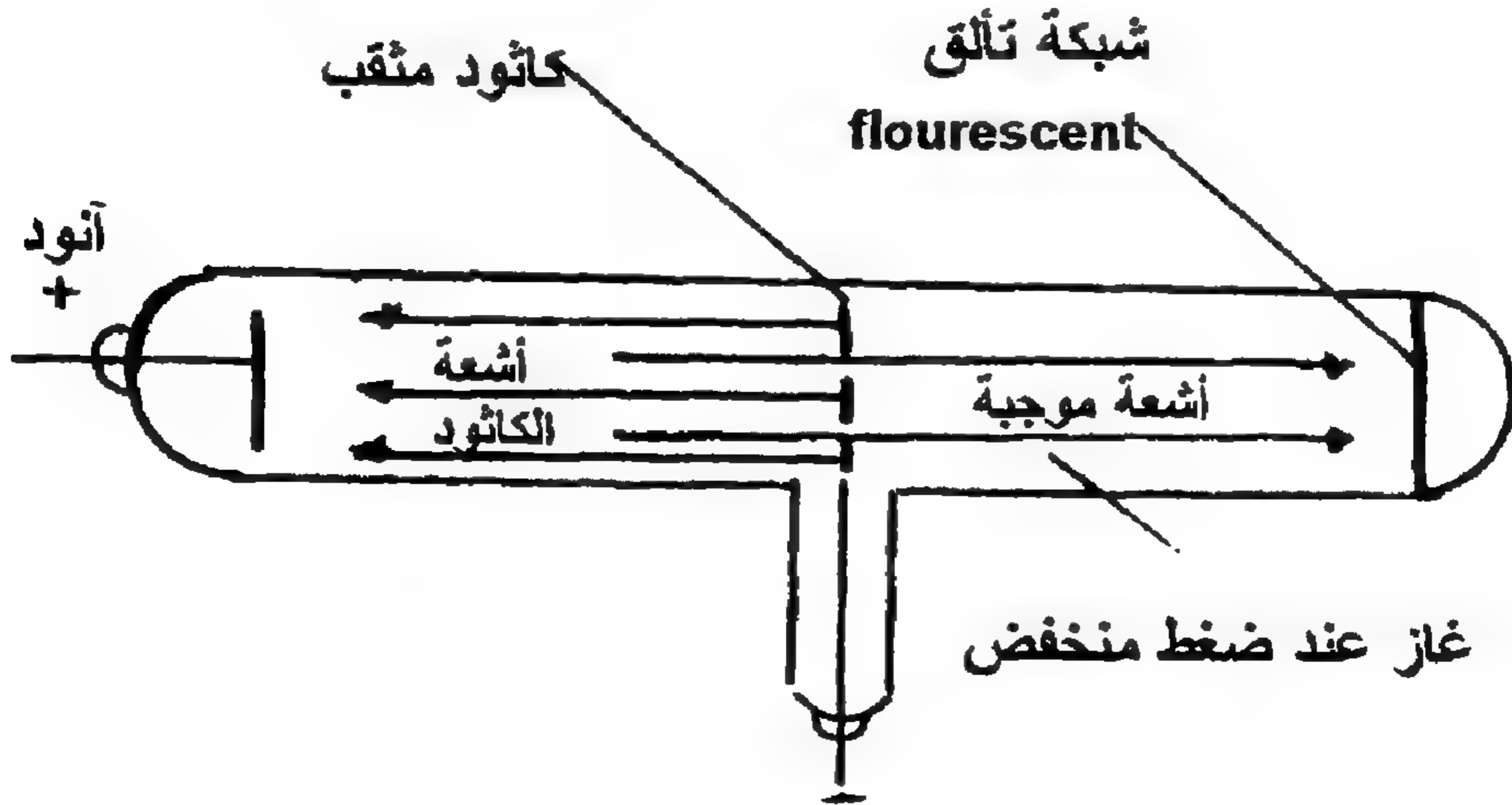
أ – استخدامات الكهرباء الضوئية :

Applications Of Photoelectricity

التأثير الذى تم وصفه تم وضعه فى الاستخدام العملى فى تجهيزات تعرف بالخلايا الضوئية (Photocells). وهذه ذات أنواع كثيرة ومختلفة ولها العديد من الاستخدامات فى العلم والصناعة. فمثلا، فى الإنذار عن اللصوص، التجهيزات الآلية للإضاءة عند الظلام، الكاميرات التليفزيونية، استعادة الصوت من تسلسل أحداث الفيلم وهكذا.

ب – الأشعة الموجبة : (Positive Rays).

عند تجربة أنابيب التفريغ الكهربى فى عام ١٩٨٦. فقد وجد إيوجين جولد ستين أنه فى حالة عمل ثقب مركزية فى أشعات كاثود مضيئة، والتي أطلق عليها (Canal Rays) أى أشعة القناة، والتي تم رؤية أنها تمر خلال تلك الثقوب. من الواضح أن شيئا ما كان متقدما أسفل الأنبوب فى اتجاه معاكس لاتجاه أشعة الكاثود. شكل (١/٤).



شكل (١/٤) أنبوب جولدستان للأشعة الموجبة

بعد عدة سنوات لقد أثبت وليام وين أن الأشعة يمكن أن تنحرف بمجالات كهربية ومغناطيسية بنفس الطريقة كما فى حالة أشعة إكس ولكن فى الاتجاه المعاكس. هذا

بالإضافة إلى اختبارات أخرى أظهرت انها يمكن أن تتكون من جسيمات موجبة الشحنة. وعند ما قام بقياس نسبة الشحنة إلى الكتلة ($m: e$) لأشعة القنال تلك (التي تسمى الآن الأشعة الموجبة) بالطريقة التي تشبه لتلك التي استخدمها ثومسون لإيجاد النسبة بين $me: e$. فقد وجد أن كتلة الجسيمات الموجبة تختلف طبقا لنوع الغاز داخل الأنبوب والأهم هو أن كتل الجسيمات برهنت أنها قريبة جدا من أن تكون متساوية مع تلك الذرات الغاز في الأنبوب. لذلك فقد ظهر احتمال كبير أن الأشعة الموجبة تكونت من ذرات الغاز التي انسلخ منها الإليكترونات.

في نفس الوقت تقريبا تم بحث خواص أشعات الكاثود والأشعة الموجبة، حيث تم اكتشاف ظاهرة جديدة النشاط الاشعاعي ($radioactivity$) والتي ساقى نحو معلومات أكثر عن طبيعة المادة.

ج - النشاط الإشعاعي: ($Radioactivity$)

لقد سبق أن أوضحنا الإشعاع أو انبعاث الضوء الذى يحدث عند سقوط أشعة الكاثود على مواد معينة أو التصادم مع حوائط أنبوب التفريغ. الاستشعاع أو التفلور ($Fluorescens$) دائما مصاحب لأنابيب أشعة إكس، وهذا حفز هنرى ، برسكوبل أستاذ الفيزياء فى باريس، لبحث احتمال أن أشعة إكس قد يصاحبها أشكال أخرى من الاستشعاع. الاستشعاع يمكن إنتاجه فى عدد من الكيماويات المختلفة ببساطة بتعرضهم إلى ضوء الشمس. طريقة بريكويل كانت بوضع بعض البللورات على سطح لوح فوتوغرافى الذى تم لفه جيدا فى ورق أسود ثم وضع الكل فى ضوء الشمس بحيث تستشع البللورات. بعد ذلك قام بتطوير اللوح لمعرفة ما إذا كان شعاع خارق قد تم انبعائه.

قام بريكويل باختيار عدد من المواد المستشعة ($fluorescent$) بهذه الطريقة، مع نتائج سلبية، ولكن حدث تعميق اللوح عند استخدام ملح اليورانيوم. الأكثر أهمية هو أن التجربة تحدث حتى فى حالة عدم تعرض اليورانيوم للاستشعاع بالتعرض لضوء الشمس. من الواضح ان الاستشعاع بضوء الشمس لم يكن حالة ضرورية لانبعاث الأشعة الخارقة بهذه المادة.

٣ - إكتشاف عائلة كورى لمواد إشعاعية جديدة:

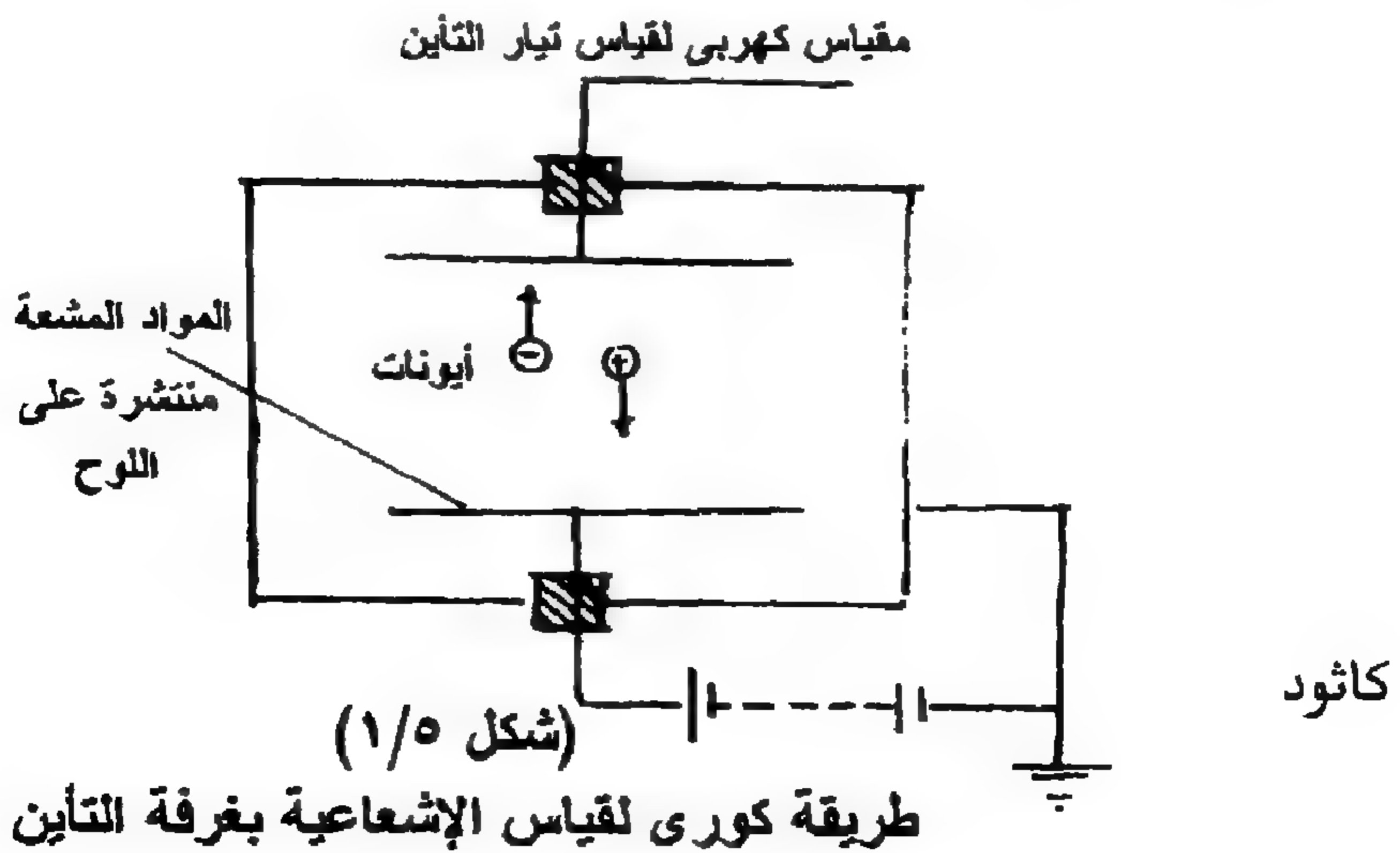
أ - نبذة تاريخية عن عائلة كورى:

ولدت مدام كورى (١٨٦٧ - ١٩٣٤) فى وارسو فى بولندا. وقد شاركت كطالبة فى التنظيمات الطلابية ضد الدكتاتورية فى بولندا. ثم أجبرت على ترك بولندا إلى باريس بسبب نشاطها السياسى. وقد إهتمت هى وزوجها ببيركورى باكتشاف بيكريل حيث صارا فيما بعد أساتذة للعلوم الطبيعية فى جامعة السربون. فى عام ١٩٠٣ نالت مع زوجها ببيركورى وهنرى بيكريل جائزة نوبل فى الفيزياء لاكتشاف الاشعاعية. وفى عام ١٩١١ نالت جائزة نوبل فى الكيمياء لاكتشاف وعزل الراديوم (Radium). وقد كانت أول من نال جائزتين نوبل. وقد اكتشفت هى وزوجها عنصر البلونيوم (Plonium)، وهذا العنصر تم تسميته بالنسبة لوطنها الأصلى بولندا. (مدام كورى وابنتها إيرين ماتا بالمرض الذى سببته الإشعاعات وقد كانوا ضحية التقدم العلمى). وقد تقاسمت إيرين وزوجها فريديرك جائزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٣٥. وبذلك فإن أسرة كورى قد نالوا جائزة نوبل لأربع من أعضاء هذه الأسرة.

ورغم مساهمة مدام كورى المتميزة فى العلم، إلا أن تعيينها فى أكاديمية العلوم الفرنسية فى عام ١٩١١ تم رفضه بصوت واحد لكونها امرأة.

ب - إكتشاف كورى لمواد إشعاعية جديدة:

لقد وجدت مدام كورى وزوجها أن الأشعة (Rays) من اليورانيوم كانت السبب فى تأين جزيئات الهواء (Air Molecules) ووجدوا فى ذلك وسائل لقياس كثافة الإشعاع. مخطط مبسط للجهاز المستخدم موضح فى الشكل (١/٥)



الجهاز يتكون من لوحين من المعدن معزولان داخل صندوق معدني موصل أرضي (Earthed) أو غرفة تأين. اللوح السفلي تم رفعه إلى الجهد العالي بواسطة بطارية كهربية.

عند نشر بعض من مادة مشعة على اللوح السفلي فإن الإشعاع (Rays) الذي أنتجته أحدث تأين للهواء داخل الغرفة. الأيونات الموجبة والسالبة التي تكونت كانت عندئذ قد تحركت في اتجاهات معاكسة بواسطة المجال الكهربى بين اللوحين. لذلك، فقد سرى تيار تأين رقيق وهذا تم قياسه بجهاز سمي (Electrometer) المتصل باللوح العلوى. مقياس تيار التأين استخدم كقياس لإشعاعية العينة المنتشرة على اللوح السفلي. باستخدام كاشف إشعاعى بهذا النوع، حاولت كورى استخدام كيماويات أخرى مختلفة ووجدت أن المواد المحتوية على الثوريوم (Thorium) أعطت كذلك إشعاع تأين. ولكن أهم اكتشاف لهم كان النشاط الكبير لخام اليورانيوم البتش بلند (pitch blende) وهو مادة سوداء لامعة من أكسيد اليورانيوم.

مع معرفة ذلك قامت الحكومة الأسترالية بإهدائهم طن من خام البتش بلند من مصانع استخلاص اليورانيوم فى بوهيميا، وبعد أسابيع كثيرة من العمل الشاق المستمر نجحوا فى أن يستخلصوا منه كمية صغيرة من (Hitherto) عنصر مشع غير معروف وقد قاموا بتسمية هذا العنصر بلونيوم (Plonium) على شرف الموطن الأصلي لعائلة كورى، بولندا. مع استمرار أبحاثهم، فقد قاموا بعزل عنصر جديد آخر والذي كان أكثر نشاطا والذي أعطوه اسم راديوم (radium) الخطوة التالية كانت بالتجارب على تلك المواد الجديدة لمعرفة الكثير عن طبيعة الإشعاعات المؤينة التى انبعثت.

ج - طبيعة الأشعة من المواد المشعة :

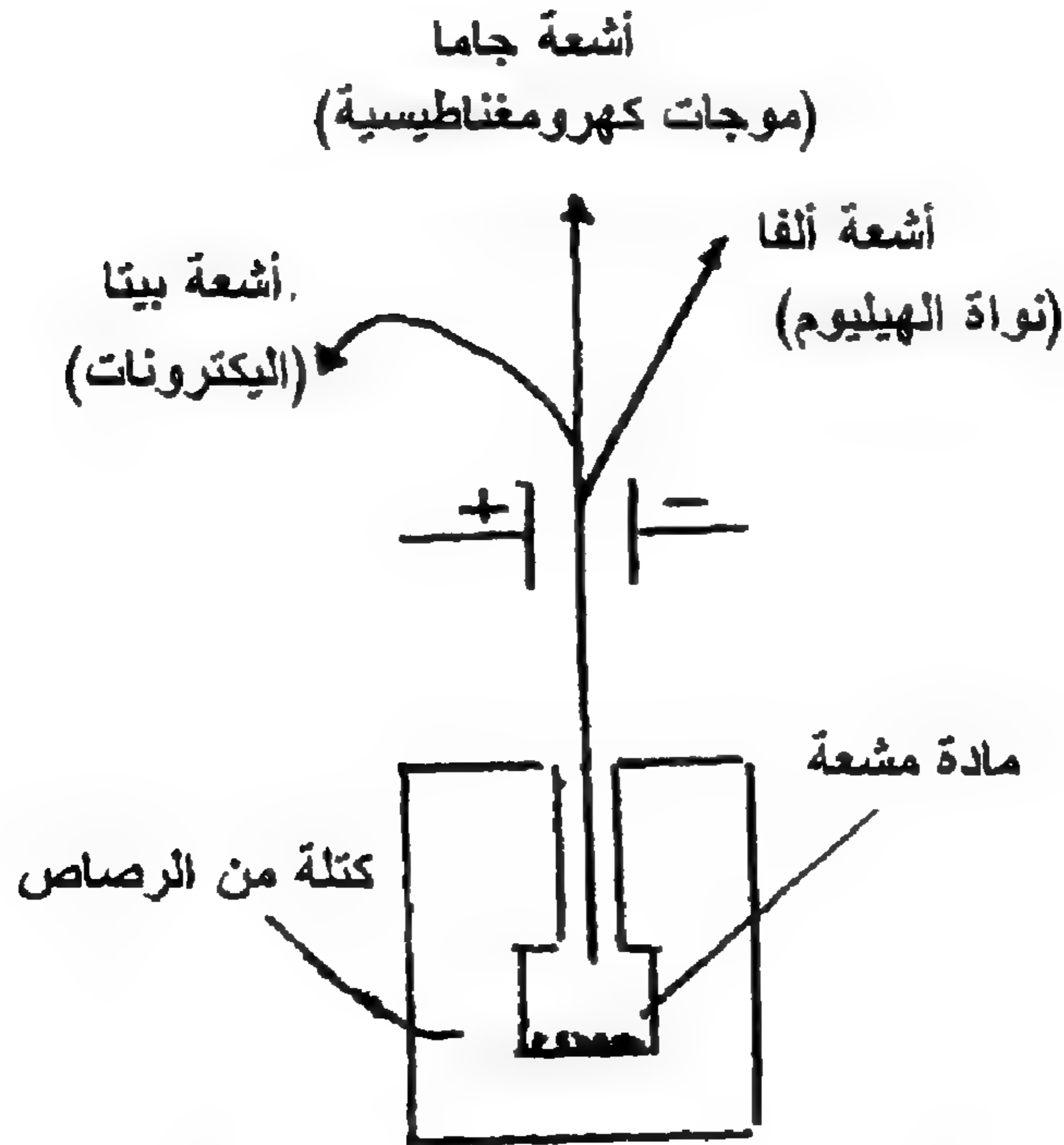
لقد لاحظ كلا من بيكيريل وكورى (Curies) أن جزء من الإشعاع يمكن أن يحدد بالمجال المغناطيسى بنفس الطريقة تماما كأشعة الكاثور بينما الباقي كان يحمل شحنة موجبة. وقبل ذلك وجد فيلارد مكون ثالث الذى يحمل كل الشبة لأشعة إكس. فى تجارب كل هؤلاء استخدموا الطرق الفوتوغرافية والتأين لكشف وقياس كثافة مختلف أنواع الإشعاع.

فى عام ١٨٩٩ أوكلت دراسة الإشعاعية إلى إيرنست رزرفورد أستاذ الطبيعة فى ذلك الوقت فى جامعة ما جيل فى كندا، والذي درس قبل ذلك فى كامبردج تحت إشراف

السير ثومسون. وقد قام رزف فورد بتسمية الثلاث أنواع من الأشعة ألفا (α)، بيتا (β) جاما (γ) وبدأ فى العمل لدراسة خواص أشعة ألفا بالتحديد. فقد وضع قليلا من الراديوم عند قاع صندوق صغير من الرصاص وتم تعريض الأشعة التى خرجت منه إلى فعل مجال مغناطيسى قوى وعند زاوية قائمة لاتجاهها: لهذا الغرض فقد استخدم مغناطيسى قوى جدا بما يمكن من معرفة أن أشعة ألفا (α) انعكست فى اتجاه معاكس لأشعة بيتا. وقد أظهر ذلك أن أشعة ألفا تحمل شحنة موجبة، وأن أشعة جاما لا تتأثر بالمجال المغناطيسى.

ولأننا لسنا بصدد مناقشة كل التجارب التى أوصلتنا إلى معرفة الإشعاع ولكن يمكن تلخيص خواصها الرئيسية.

لقد قامت مدام كورى بتلخيص النتائج للعديد من الاختبارات فى مخطط يشبه لذلك الموضح فى الشكل (١/٦).



شكل (١/٦) تأثير المجالات الكهربائية مغناطيسية على أشعاعات ألفا وبيتا وجاما

٤- أنواع وخواص الأشعة:

أ- أشعة ألفا : Alpha (α) Rays :

تتكون أشعة ألفا من تيار من جسيمات ألفا. جسيم ألفا يتشابه مع نواه الهيليوم - ٤ ($^4\text{He}^{2+}$) شكل ١/٦. تلك الجسيمات يمكن أن تخترق المادة، ولكن قوة إختراقها ضعيفة. هذه الأشعة تنتج أيونات فى المادة التى تسقط عليها. جسيمات ألفا تنعكس بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية بسبب شحنتها الكهربائية شكل (١/٦). أشعة ألفا هى نوبات الهيليوم ذرات الهيليوم التى فقدت اثنين من إلكتروناتها المدارية وبذا فإن لها شحنة موجبة. من أى مادة مشعة معينة فإنها كلها تنبعث بنفس السرعة تقريبا. فلها مجال فى الهواء عده سنتيمترات، ولكن معظمها يتم إيقافه بواسطة رقيقة دقيقة من لفيفة الألومونيوم أو بواسطة ورقة بالسلك العادى.

ب- أشعة بيتا هى تدفقات من الإليكترونات عالية الطاقة:

هذه الأشعة تشبه أشعة الكاثود. وهى تنبعث بسرعات متغيرة، تقترب السرعة الضوء (3×10^8 متر فى الثانية) وتلك ذات الطاقة الكبيرة تكون قادرة على إختراق عدة سنتيمترات من سمك الألومونيوم.

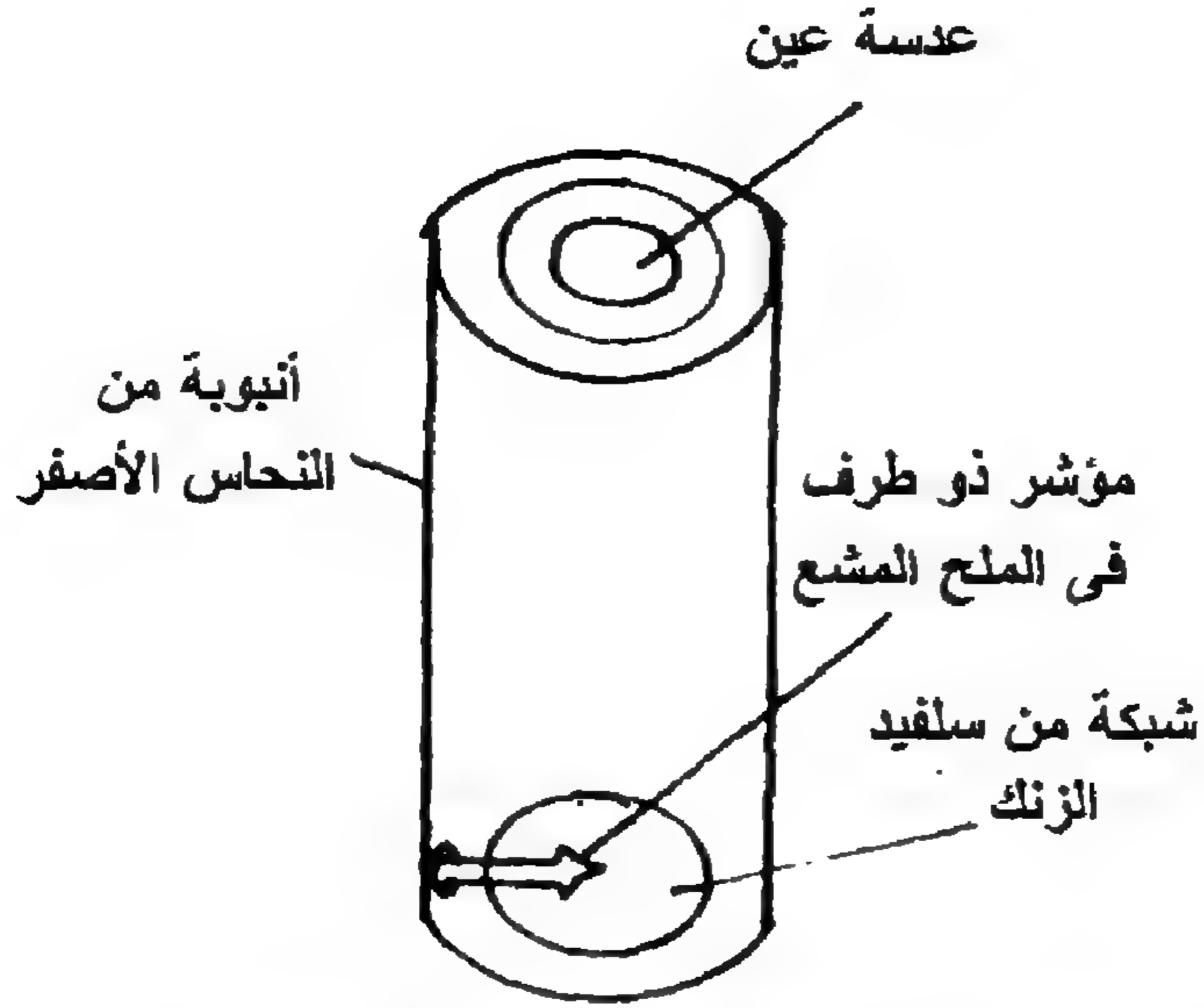
ج- أشعة جاما تتكون من إشعاع كهرومغناطيسى:

وهى تشغل حزمة ضمن أشعة أكس والتى هى أقصر أطوال موجه معروف شكل (١/٣) أشعة جاما ذات أعلا طاقة تكون عالية الإختراق وتقترب الامتصاص الكامل فقط بعد عبور كثيرا من السنتيمترات للرصاص. الفرق الأساسى بين أشعة جاما وأشعة إكس هو أن أشعة جاما مصدرها من التغيرات فى الطاقة فى نوبات الذرات بينما أشعة إكس تأتى من تغيرات الطاقة المصاحبة لبناء إلكترون الذرة.

د- منظار الومض والومضات:

Crook's Spintharoscope Scintillations

لقد وجد وليام كروكس أنه عند إرتطام جسيمات ألفا (α) مصفاه مغطاه بسلفيد الزنك Zinksulphide حدث شرر أو ومضات عند نقطة التصادم. لتوضيح هذا التأثير قام بتصميم جهاز بسيط سمي منظار الوميض شكل (١/٧)



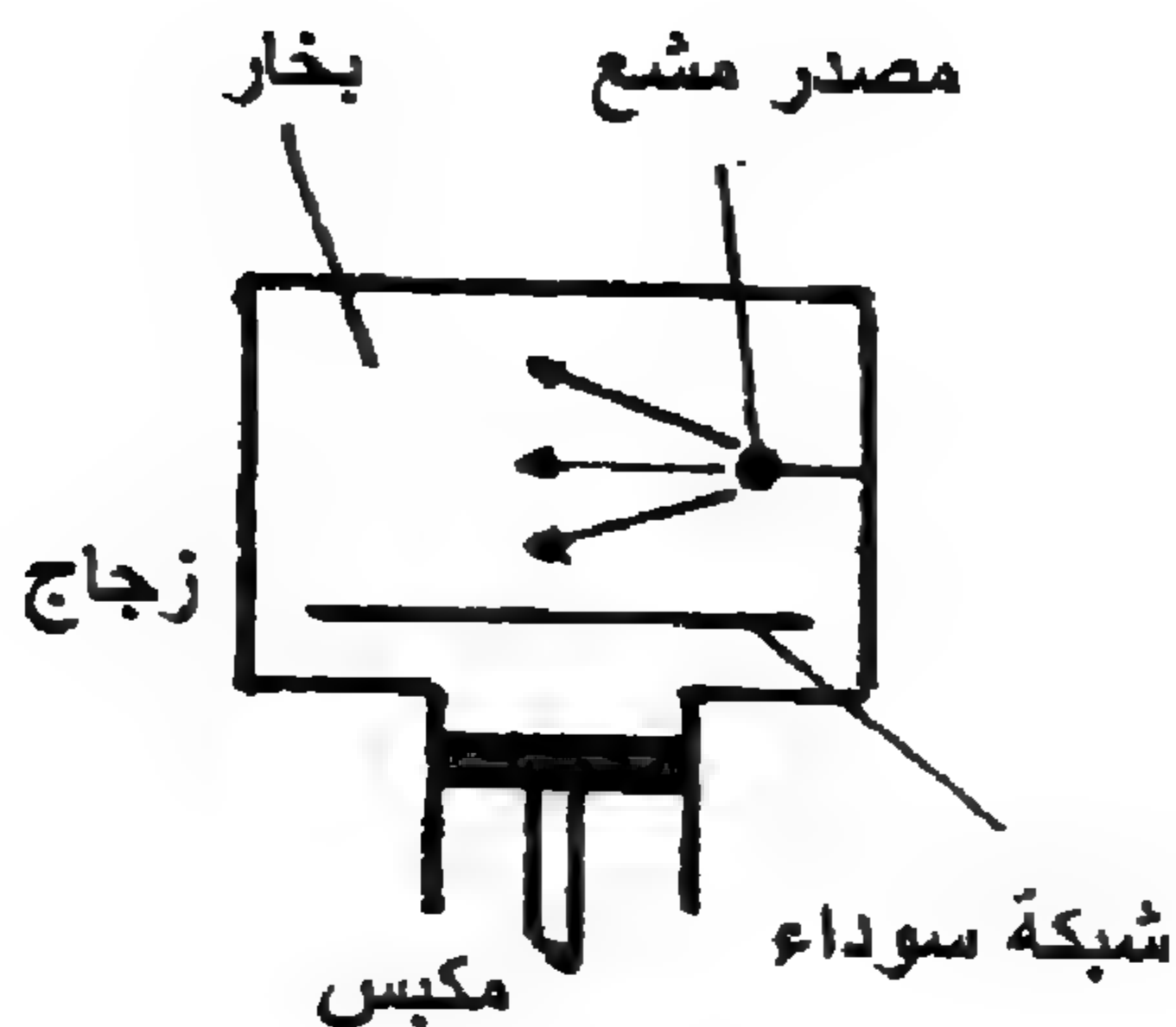
شكل (١/٧) منظار الوميض لكروك

يتكون جهاز الوميض من أنبوب قصير من النحاس الأصفر (Brass) لها مصفاه من سلفيد الزنك عند أحد النهايات وعدسة تكبير عند الأخرى. فوق سطح المصفاة مباشرة يتم وضع ذراع الساعة مع كمية من الملح المشع على طرفه، والومضات يمكن رؤيتها خلال عدسة العين. لهذا فإن هذه الطريقة ثبت جدواها لأغراض عدد جسيمات ألفا.

أ- غرفة السحاب (Cloud chamber)

إذا تم التبريد الكافي للهواء بحيث أن يصل البخار الموجود إلى حد التشبع، فإنه من الممكن زيادة التبريد بدون حدوث تكثف إضافي. في هذه الظروف يقال أن البخار في حالة التشبع الزائد (Super saturated). يحدث هذا فقط في حالة خلو الهواء كلية من الغبار أو من جسيمات الأملاح التي تعمل كنويات التي يمكن أن يتكثف عليها البخار لتكوين نقاط السحاب.

لقد إكتشف ويلسون أن الأيونات الغازية يمكن كذلك، أن تعمل كنويات تكثيف وتأكد من أن هذا التأثير يمكن استخدامه لرؤية مسارات إشعاعات التأين خلال الهواء الشكل (١/٨) يوضح مبدأ غرفة السحاب التي صممها ويلسون لهذا الغرض.

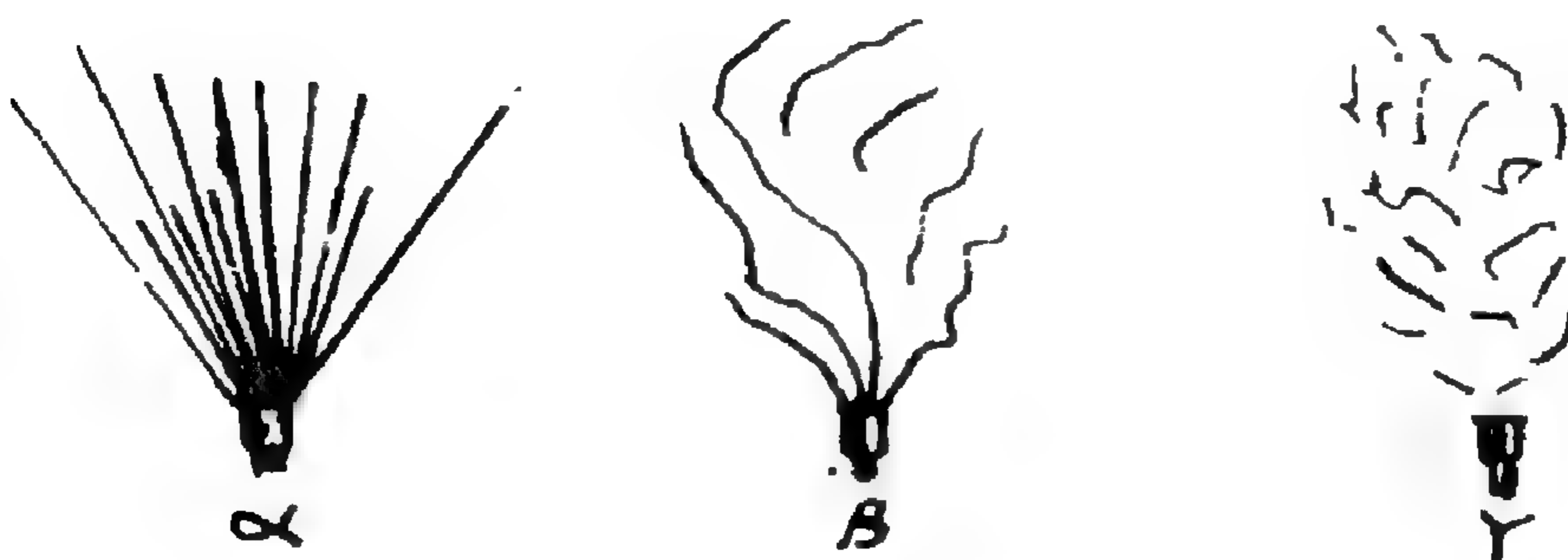


شكل (١/٨) غرفة السحاب

المصدر المشع يبعث الجسيمات في فضاء الهواء المشبع بالماء أو بخار الكحول داخل وعاء نافذة زجاجية. مع سرعة الجسيمات خلال الهواء فإنها تصطدم مع جزيئات الهواء بتلك القوة بحيث أن الإليكترونات يتم طردها (Knocked off)، تاركة ممر لأيونات موجبة وسالبة. عندئذ إذا حدث تمدد مفاجئ لفضاء الهواء بتحريك المكبس، فإنه يحدث تبريد ويتكثف البخار على الأيونات، وبذا تنكشف مسارات الجسيمات.

ب- مسارات غرفة السحاب: (Cloud Chamber Tracks)

مظهر مسارات السحاب يتوقف على الجسيمات ذات العلاقة ويمكن أن يستخدم كوسائل للتعرف شكل (١/٩).



شكل (١/٩) مظهر مسارات غرفة السحاب

جسيمات α ذات الكتلة نسبياً تتبع ممرات مستقيمة، دافعة الإليكترونات بعيداً عن الذرات مع مسارها منتجة حتى ١٠٠٠٠ زوج من الأيونات (Ion Pair) لكل سنتيمتر من مسارها. مسارات السحب الناتجة تكون مستقيمة وكثيفة.

بالمقارنة ، جسيمات β الخفيفة جدا تقاسى التناثر من إلكترونيات الذرات التي تمر قريبا منها وتجعل تصادمات التأين أقل. وهى تعمل فقط قليل من مئات زوج من الأيونات لكل سنتيمتر للمسار وبالتالي فإنها تحدث مسارات سحب رقيقة وغير منتظمة أشعة جاما لا تحدث مسارات سحب على طول مساراتها الخاصة. ولكن الكم الضوئى (Photons) لأشعة جاما قد يتفاعل مع ذرة فى مساره معطيا جزء أو كل طاقتها لطرد إلكترون منها. عندئذ تسلك الإليكتروونات مثل جسيمات بيتا منتجة مسار سحب غير منتظم لها والذي يتفرع إلى الخارج من اتجاه شعاع جاما.

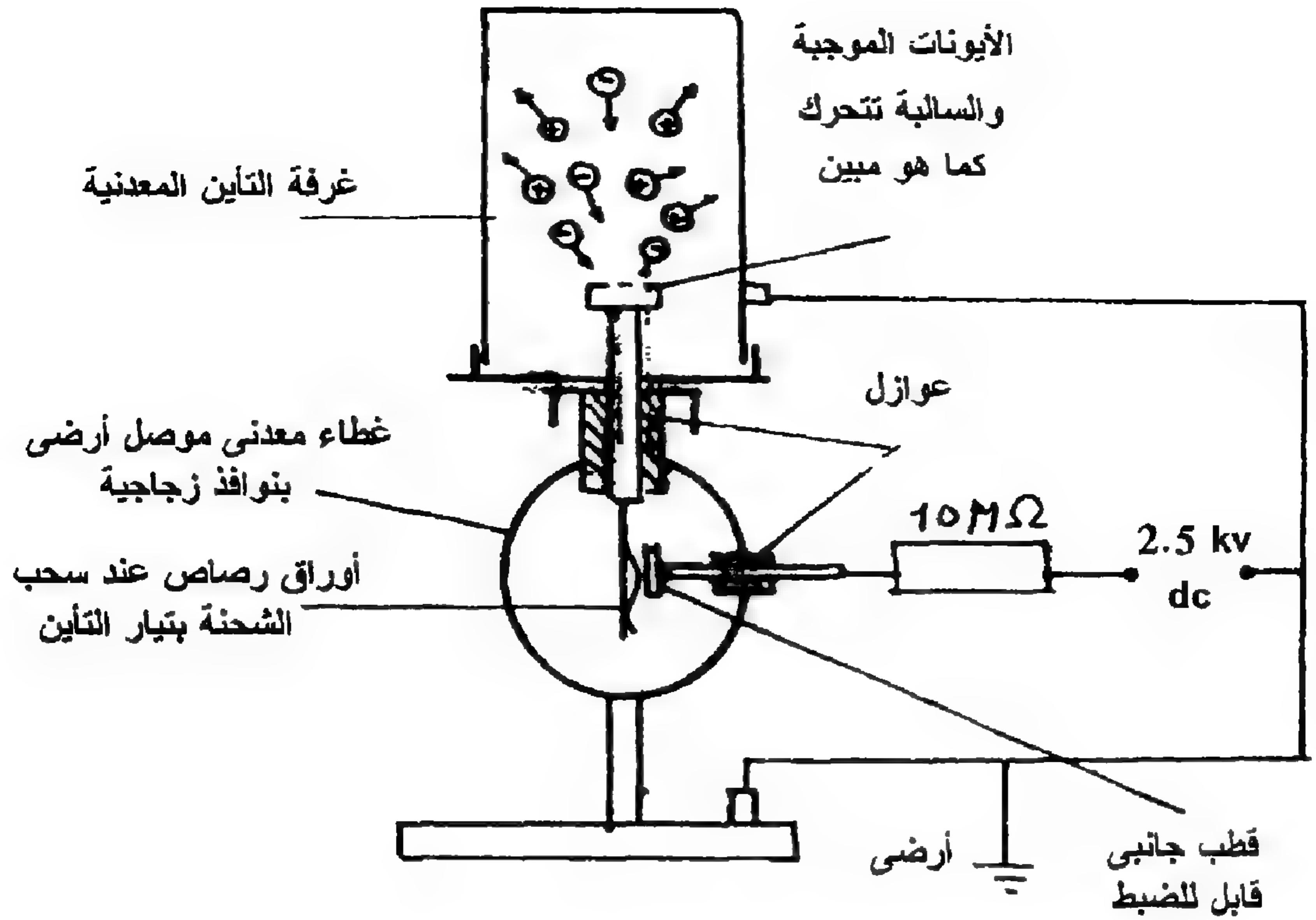
الآن تتم دراسة الجسيمات عالية الطاقة بمساعدة غرف الفقاعة (Bubble Chambers) التى تكشف مرور الجسيمات بمسار الفقاعات فى الهيدروجين السائل أو فى بنتين شكل (١/١١). وقد برهنت غرفة السحاب على القيمة الكبيرة للأبحاث على الجسيمات الغير مرئية ولكنها تمكن كذلك من تقرير طاقتها من واقع طول مساراتها. فى حالة الجسيمات الحاملة لشحنة كهربية ، فإن استخدام المجال المغناطيسى يسبب انحراف لمسارات واتجاه الانحراف كان دلالة على علاقة الشحنة الكهربية المحمولة.

٦ – طرق قياس نشاط المواد المشعة :

منذ أيام مدام كورى وعائلتها تم تطوير الكثير من الطرق الجديدة لقياس النشاط. عدد منهم يشمل شكل غرفة التأين. سيتم شرح طريقتين للقياس :

أ – كاشف وجود الشحنة الكهربية النابض : The Puls (Wulf) Electroscope

الشكل (١/١٠) يوضح مكونات كاشف وجود الشحنة الكهربية النابض. واستخدامه لكشف تأين الهواء بالأشعاع من مصدر نشط.



شكل (١/١٠) الكشف عن التأين للهواء بمصدر مشع

في بعض الاعتبارات كاشف الشحنة النابض يشبه كاشف الشحنة بورقة الذهب (Gold leaf). يتم شحن الورقة يجعلها تنجذب وتلتصق بقطب جانبي الذي يكون عند جهة مرتفع. عندئذ يتم دفع الورقة، وعودتها إلى الصفر يكون بمساعدة تجهيزه زنبرك خفيف.

ب - لتوضيح تأين الهواء بمصدر مشع:

مصدر مناسب مثل يورانيوم - ٢٢٦ يتم التقاطه بواسطة كلابه ، ليس بواسطة الأصابع) وحشرة في القطب العلوي لكاشف الاشعاع (wulf). يتم وضع غرفة التأين في مكانها وعمل التوصيلات خلال مقاوم أماكن عالية القيمة إلى ٢,٥ قوة كيلو فولت معاكس كما هو موضح في الشكل (١/١٠).

الاشعاع من المصدر تؤين الهواء، وتحت تأثير المجال الكهربى بين القطب المركزى وحوائط الغرفة، تتحرك الأيونات الموجبة نحو جدران الغرفة والأيونات السالبة نحو القطب المركزى.

نظر لأن القطب المركزى يجمع أيونات ذات علامة معاكسة فإنه يصبح بدون شحنة (Discharged) ويصبح مرة أخرى منجذبا نحو القطب الجانبي. يعود عندئذ إلى الصفر

وأداء التخلص من الشحنة ستمر كما سبق. الورقة، لذلك، تنبض أو تضرب بالمعدل الذى يتوقف على قيمة تيار التأين. تيار التأين بالتالى يكون التحكم فيه بواسطة نشاط المصدر وفرق الجهد بين القطب المركزي وحوائط غرفة التأين وظيفه حدية المقاوم ($10\text{ M } \Omega$): من المهم ملاحظة أن المقاوم العالى بمعدل ($10\text{ M } \Omega$) أو التى يوضع دائما بين المصدر خالى الجهد وكاشف الاشعاع هذا يخدم الغرضين لحماية المستخدم من الصدمات والورق من التلف. ($10\text{ M } \Omega$) قد تبدو كبيرة، ولكن يجب التذكرة أن هذه صغيرة مقارنة بمقاومة الهواء المؤين فى الغرفة وبالتالي فإن تأثيرها قليل على قيمة تيار التأين.

ج - لدراسة مجال جسيمات ألفا فى الهواء:

To Investigate The Range Of Alpha Particles In Air

الشكل (١ / ١) يوضح نوعين مختلفين من طرق استخدام مقياس الشحنة بالنبضات لقياس المجال المحدد لجسيمات ألفا فى الهواء طبقا لنوع الجهاز المستخدم.

المصادر المناسبة لأشعة ألفا (α) هي الراديوم - ٢٢٦ ، البلوتونيوم - ٢٣٩ .

معانى الأرقام المرتبطة بهذه الأسماء سيتم شرحها فى الفصل التالى .

فى الواقع المصدر المعزول للراديوم - ٢٢٦ يبعث كلا من β ، γ وكذلك إشعاع ألفا، ولكن جسيمات ألفا فقط تنتج تأثير يمكن قياسه (Measurable) فى غرف التأين كما سنرى. كل المصادر النشطة يجب دائما تداولها باستخدام الكلاب ولا يتم توجيهها نحو المستخدم أو أى شخص آخر، وعند عدم استخدامها تعود إلى وعاء الحفظ المتاح.

الطريقة رقم (١).

يتم تثبيت المصدر مع قطب مركزى، ووضع غرفة التأين ذات غطاء الكشاف الكهربائى (Electroscopical) فى مكانه فوقها. يتم توصيل وحدة تسخين كهربى (e. h. t) كما هو موضح والضبط عند ٢,٥ كيلو فولت وتشغيل زر التوصيل . الهواء يصبح متأين بواسطة جسيمات ألفا، والأوراق تبدأ النبض للأسباب التى تم شرحها فى التجربة السابقة. وإذا بدأنا بالغطاء المنزلق قريبا من المصدر، فإن جسيمات ألفا (α) يمكن أن تسير مسافة قصيرة جدا فقط قبل أن تفقد قوة تأينها. إجمالى عدد الأيونات التى تم الحصول عليها سيكون عندئذ صغيرا ومعدل النبض يبطأ.

يتم رفع الغطاء فى خطوات ٥ ملليمتر وفى كل وقت يتم قياس معدل النبضة بالعدد وحساب الوقت بمساعدة ساعة ميكاتية. أقصر مسافة التى يصل فيها معدل النبض أقصى قيمة سيكون مساويا تقريبا لمجال جسيم ألفا فى الهواء. أفضل طريقة للحصول على المجال هو بتوقيع مخطط لمعدل النبض مقابل المسافة بين المصدر والغطاء.

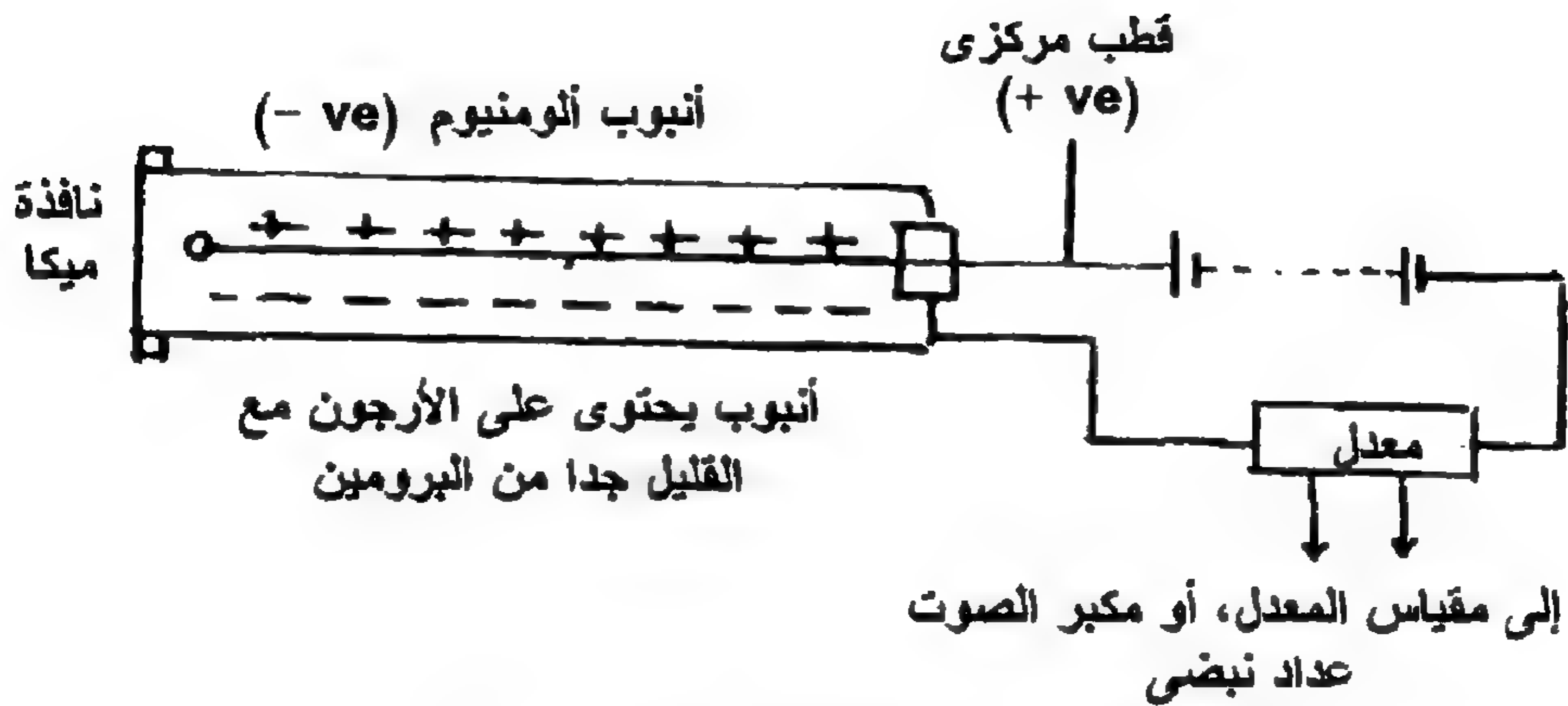
الطريقة رقم (٢)

فى هذه الطريقة، تستخدم غرفة التأين بسقف من شبك السلك ويوضع المصدر فوقها. يتم توصيل الغرفة خلال حامل الغرفة إلى الطرف السالب لوحدة التسخين الكهربى (e.h.t) والتوصيل أرضى، بينما القطب الجانبى (Side Electrode) يتم رفعه إلى ٢,٥ كيلو فولت خلال شبك السبك (Gauze) سيكون معدل النبض عاليا لأن مسار جسيم ألفا يمتد نحو داخل الغرفة. مع رفع المصدر بمسافات صغيرة متتالية فإن معدل النبض ينخفض ويصل إلى الصفر عندما تصل المسافة من المصدر إلى الشبك مساوية تقريبا لمجال جسيمات ألفا.

هذه التجربة يمكن أن تستخدم كذلك لإظهار أن جسيمات ألفا تم امتصاصها تماما بواسطة قطعة من الورق أو رقيقة من لفيفة الألومونيوم. المصدر يتم وضعه فوق الشبك مباشرة ويلاحظ أن النبضات يمكن أن تتوقف عند حشر الورقة أو شريحة الألومونيوم بين المصدر والشبك.

د- أنبوبة جيجر - مولار: Muller Tube - The Geiger :

هذا شكل خاص لغرفة التأين والتي تعمل عند ٤٠٠ فولت أو أكثر طبقا للعمل شكل (١/١٢).



شكل (١/١٢) عداد جيجر - مولار

النوع المستخدم عادة في العمل الأولى يتكون من أنبوب ألومونيوم الذى يعمل كقطب سالب بينما السلك أسفل المركز يعمل كقطب موجب الغاز داخل الأنبوب يتكون من الأرجون عند ضغط منخفض بمساعدة قليل جدا (Trace) من البروم. نافذة رقيقة من الميكا عند الطرف تسمح بدخول الجسيمات النشطة أو الكم الضوئي لأشعة جاما (Gamma Photons). في حالة دخول أحد هذه الأنبوب فإنها تسبب تأين الغاز في الداخل.

الفائدة الرئيسية لأنبوب جيجر مولد عن غرفة الهواء العادية هو أنه مع الوقت الإليكترونات من عملية التأين تصل إلى القطب المركزي (Central Electrode)، وهي تتحرك بسرعة تحت تأثير التدرج العالى فى الجهد الذى يمكن أن يخلق غمر من الأيونات الزائدة بالتصادم. هذه العملية لتضخيم الغاز كما تسمى تزيد حساسية الأنبوب،

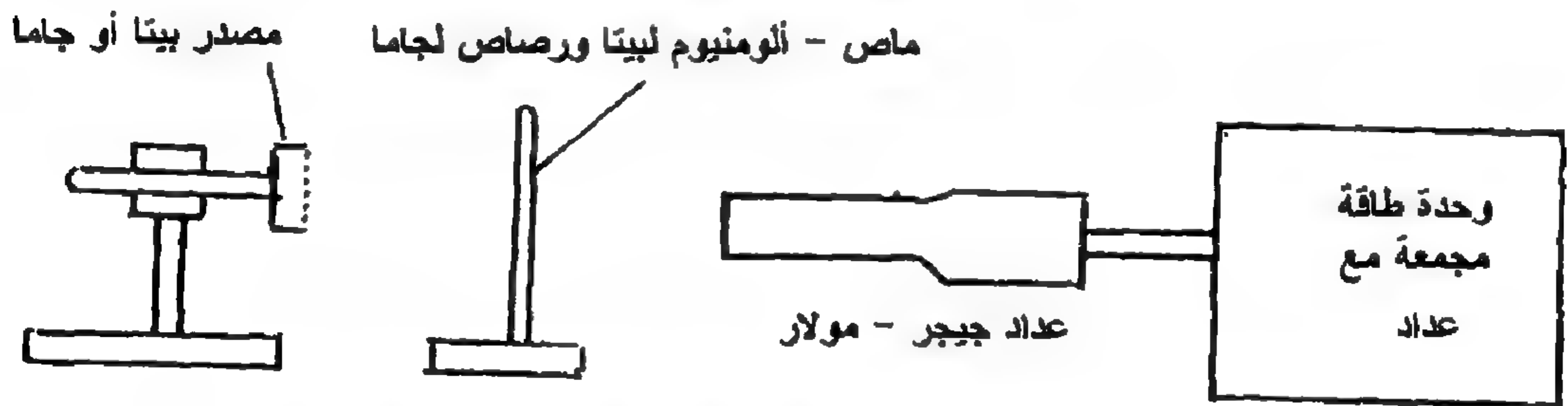
بما يمكنه من تسجيل دخول جسيمات بيتا والكم الضوئي لجاما (γ Photons).
والذى بمفردهم إنتاج زوجين - أيون لكل سنتيمتر لمسارهم أقل كثيرا عن ما تفعله
جسيمات الفا (α).

النبضات من الأنبوب يتم تكبيرها واستخدامها لتشغيل أى تجهيز لتسجيل المعدل.
الأول يعد ويسجل النبضات على أنابيب نيون خاصة بينما لآخر يقيس معدل وصول
النبضات على ميكرو أميتر (Microammeter) معاير بعدات فى الثانية (أو هفى
الدقيقة)، عادة يتم إستخدام مكبر صوت الذى يبين بالسمع النبضات بسلسلة من
الطقطقات.

كلا من بذبات إبرة عداد قياس الدوارن (Rotameter) والطقطقات الغير منتظمة من
مكبر الصوت تكون هو بيان واضح للطبيعة العشوائية للتحلل أو تأكل المواد المشعة.

هـ - دراسة امتصاص أشعات بيتا بواسطة الألومنيوم:

جسيمات بيتا تتلف كثيرا فى الطاقة، حيث بينما بعضها يتم (امتصاصه بسهولة)،
إلا أن معظم ذوى الطاقة العالية (Mast Energetic ones) لهم مجال طويل جدا فى
الهواء. لذلك، فإننا نجد أنه من المناسب دراسة امتصاصها فى بعض المجالات الأكثر
كثافة مثل الألومنيوم، بخلاف فى حالة الهواء شكل (١/١٣)



شكل (١/١٣) بحث إمتصاص جسيمات بيتا وإشعاع جاما
فى الألومنيوم والرصاص

للأسباب التى سبق شرحها، فإن عداد جيجر - مولار هو أفضل كاشف للاستخدام
ونحن سوف نستخدم مصدر استرنشيوم - ٩٠ الذى يعطى جسيما بيتا شديدة الاختراق.
يتم توصيل أنبوب جيجر - مولار بوحدة طاقة مشتركة ومعداد (Scaler) وضبط
الفولت إلى القيمة الموصى بها للأنبوب المعين المستخدم مع توصيل التيار مع المعداد

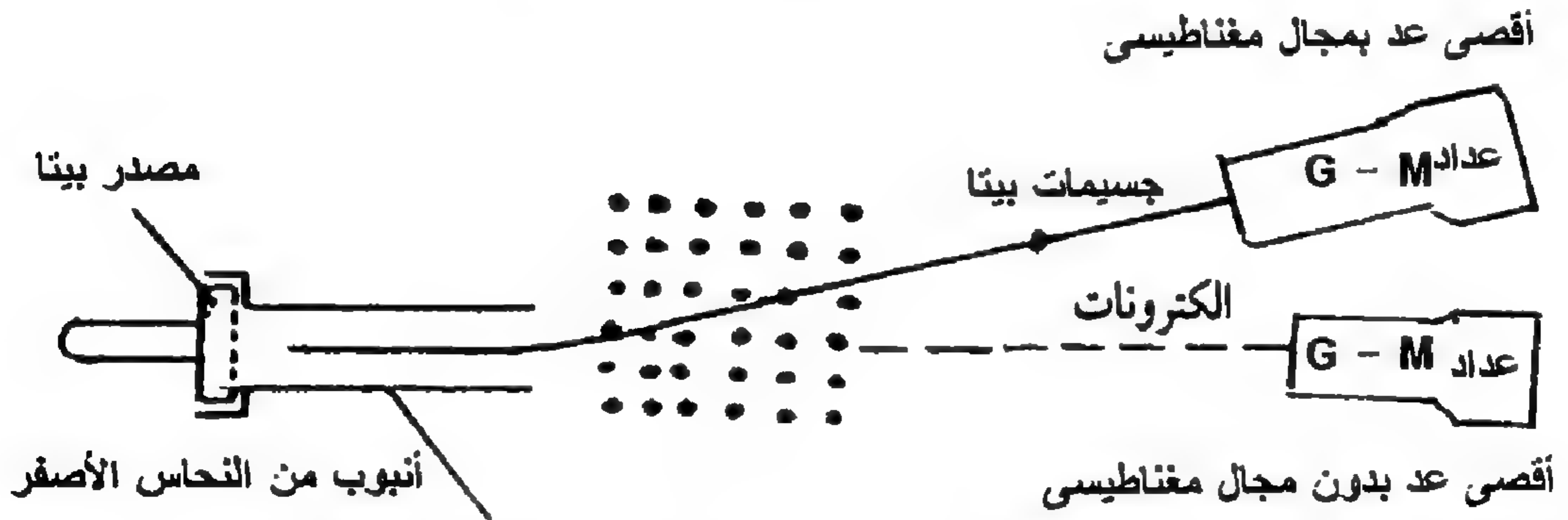
والبدء فى أن يصبح ساخنا فإنه يلاحظ أنه يتم تسجيل عد عشوائى ويأتى من مادة نشطة فى الأرض والمجالات المحيطة القريبة مع ما يسمى بالإشعاع الكونى (Comic Radiation) الذى يخترق جو الأرض من الفضاء الخارجى.

خلفية العد يتم توقيته خلال فترة زمنية لا تقل عن دقيقتين وبعد ذلك وضع المصدر على مسافة قريبة من نافذة النهاية للعداد. الآن المعدل العالى للعد الذى يتم الحصول عليه يتم قياسه كما سبق، وعند هذه المرحلة يكون الجدير بالملاحظة أن معدل العد نادرا ما يتأثر فى حالة حشر قطعة من الورق بين الأنبوب والمصدر.

ماصات الألومنيوم ذات السمك المتزايد حاليا يتم إيلاجها على التوالى بين الأنبوب والمصدر وكل مرة يتم تسجيل معدل العد (Count Rate). فقد وجد أن سمك الألومنيوم بعدة مليمترات يكون مطلوبا قبل وصول معدل العد إلى خلفية القيمة الأصلية.

و- لإظهار أن جسيمات بيتا تنحرف بواسطة المجال المغناطيسى:

مصدر بيتا الذى يشبه الذى استخدم فى التجربة السابقة يتم وضعه فى انبوب من النحاس الأصفر (Brass) أمامة لاحتواء جسيمات بيتا فى شعاع ضيق إلى حد ما. الشعاع يدخل عداد جيغر - مولار ومعدل العد يتم تسجيله شكل (١/١٤).



شكل (١/١٤) جسيمات ألفا يمكن أن تنحرف بالمجال المغناطيسى

يتم عندئذ تعليق مغناطيس قوى رأسيا قرب نهاية أنبوب النحاس الأصفر بحيث أن المجال المغناطيسى يتم توجيهه إلى أعلا وعموديا على مسار جسيمات بيتا. بسبب انحراف الجسيمات، فإن معدل العد يهبط. المسار المنحرف للجسيمات يمكن تعيينه بتحريك الأنبوب لأحد الأجناب حتى زيادة معدل العد إلى الأقصى.

باستخدام قاعدة فليمنج - اليد اليسرى يمكن توضيح أن جسيمات بيتا تسلك نفس الطريق مثل أشعة الكاثود من ذلك يمكننا التأكد من أنها تحمل شحنة سالبة.

ز- لدراسة خواص إشعاع جاما :

(١) الامتصاص :

باستخدام الجهاز الموضح فى الشكل (١٣ / ١) مع مصدر من الكوبالت - ٦٠ الذى يوفر أشعات جاما عالية الطاقة ، فقد وجد أن سمك الألومنيوم الذى أوقف جسيمات بيتا له تأثير مهملى على إشعاع جاما ، وأن سمك من الرصاص ٢ سم أو ٣ سم يكون مطلوباً قبل خفض معدل المعد من أشعة جاما عالية الطاقة إلى قيمة منخفضة جداً .

٢- تأثير المجال المغناطيسى :

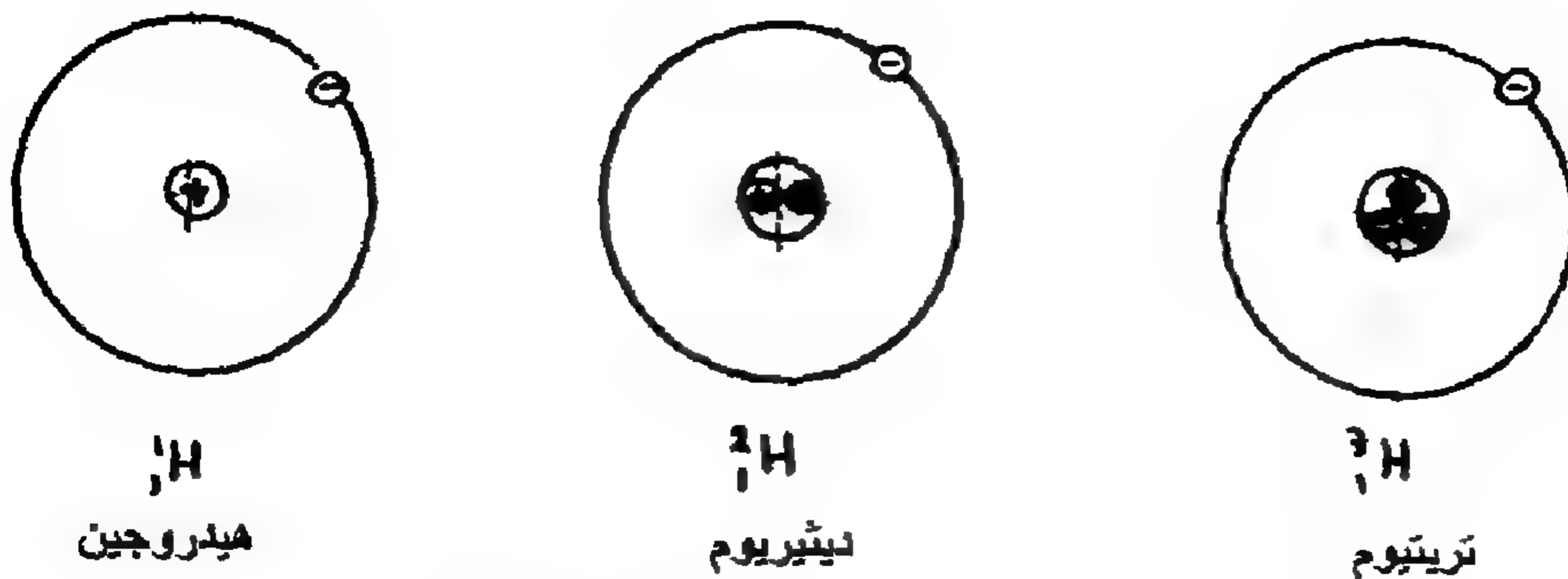
حتى فى حالة استخدام أقوى مجال مغناطيسى متاح فقد وجد أنه لا يحدث أى انحراف لأشعة جاما - هذا ويبين أن أشعة جاما لا تحمل أى شحنة كهربية مثل جسيمات ألفا وبيتا .

٧- ظهور الأفكار نحو البناء الذرى :

بنهاية القرن التاسع عشر كان مفهوم أن الذرات جسيمات لا تنقسم بدء فى التعثر . دراسة أشعة الكاثود ، والإشعاعات الموجبة والنشاط الإشعاعى أوضحت أن الذرات تحتوى جسيمات ذات شحنات كهربية موجبة وسالبة . المشكلة الرئيسية أصبحت الآن هى محاولة وجود كيفية تنظيم تلك الجسيمات داخل الذرة . وكان آخر هذه المحاولات عندما أظهر رزرفورد بالتجارب أن الشحنة الموجبة للذرة تكون مركزة فى نواة صغيرة فى المركز .

طريقة أنبوب التفريغ لثومسون لفصل النظائر تم تطويرها بواسطة فرانسيس أستون وفى عام ١٩١٩ صمم جهاز يسمى (Mass spectrograph) الذى مكنه من وزن الذرات بدقة شديدة . حيث تم اكتشاف عدة مئات من النويات (Nuclide) . وكلمة نوية (Nuclide) تشير إلى أنواع الذرات ، ولذا فإنه مصطلح يعطى كل النظائر للعناصر المستقلة .

الهيدروجين له ثلاث نظائر (3 Tsotopes) شكل (١/١٥)



شكل (١/١٥) نماذج رزموزد يوهر للنظائر الثلاث للهيدروجين

بالإضافة إلى الهيدروجين العادى يوجد الديتيريوم (الهيدروجين الثقيل)، الذى له نيوترون واحد فى النواه، والتريتيوم الذى له اثنين. كل الثلاث نظائر للهيدروجين تحتوى على بروتون واحد فى النواه، وكل له نواه مدارية واحدة. تسمى نواه الهيدروجين البروتون. نواه الديتيريوم تسمى (deuteron). حكلا من البروتونات والديوترونات تستخدم كمقذوفات عالية الطاقة فى معجلات الجسيم والتى تستخدم بغرض تحطيم نواه الذرة.

أ - العدد الكتلى، الرقم الذرى، رموز النويات.

Mass Number, Atomic Number, And Nuclide Symbols

إجمالى عدد البروتونات والنيوترونات فى النواه هو العدد الكتلى (Mass Number) ويرمز له بالرمز (A).

يعرف الرقم الذرى (Atomic No) بأنه عدد البروتونات ويرمز له بالرمز (Z).

لذلك إذا كان رمز عدد النيوترونات هو N يكون

$$A = Z + n$$

نظائر العنصر هى ذرات التى لها نفس الرقم الذرى ولكن رقم كتلى مختلف (أى عدد النيوترونات مختلف) تستخدم الرموز الكيميائية لتمثيل مختلف النويات، ولكن مع إضافة رمز علوى ورمز سفلى لكل من العدد الكتلى (A) والرقم الذرى (Z) على التوالى.

لذلك نظائر النيون الاثنى عشر يرمز لهم ${}^{22}_{10}\text{Ne}$ ، ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ نظائر الهيدروجين ${}^3_1\text{H}$ ، ${}^2_1\text{H}$ ، ${}^1_1\text{H}$ ونظائر الكلور ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ ، ${}^{35}_{17}\text{Cl}$

عند مناقشة النظائر فقد جرت العادة على كتابة العنصر يليه مباشرة الرقم الكتلى مثل ^{12}C ^{14}C . من الجدول نلاحظ أن الرقم الذرى للكربون (Z) هو ٦ ، لذلك فإن الوصف الكامل لنظائرين هو $^{12}_6\text{C}$ $^{14}_6\text{C}$ من هذه الرموز يمكن أن نقول أن ^{12}C له 6 نيوترونات فى النواة، ^{14}C له 8 نيوترونات فى النواة

ب – وحدة الكتلة الذرية وطاقة الرباط:

Atomic Mass Unit And Binding Energy

العدد الكتلى للعنصر (Mass Number) والذى يعنى به عدد البروتونات والنيوترونات يجب ألا يتداخل مع وحدة كتلة الذرة (atomic Mass) والتي تساوى $(1.66 \times 10^{-24}$ جرام) منذ عام ١٩٦١ اتفق على استخدام $1 \div 12$ من كتلة النظير الأكثر وفرة للكربون ($^{12}_6\text{C}$) كوحدة لقياس للكتلة الذرية هذه الوحدة تسمى الوحدة العيارية للكتلة الذرية ويرمز لها بالرمز (U) (Unified Atomic Mass Unit—U).

البروتونات والنيوترونات كل على حدة له نفس الكتلة تقريبا. ولكن عند جمعها فى نواة الذرة فإن مجموع كتلتهم يكون دائما أقل عن مجموع كتلتهم كل على حدة . الفرق يسمى (Mass Defect) ويمثل كتلة طاقة الرباط التى تمسك الجسيمات فى النواة مع بعضها.

ج – الرموز للبروتونات، النيوترونات والإليكترونات فى النواة:

دعنا نوجز ما تناولناه فى الآتى:

الإليكترون أو جسيم بيتا يمتلك الوحدة الأساسية للشحنة الكهربائية ($-e$)

البروتون أو نواة الهيدروجين يمتلك الوحدة الأساسية للشحنة الكهربائية ($+e$).

الرقم الذرى (Z) للنواة يساوى عدد البروتونات التى فى النواة وبالتالى فإنه يمثل كلا

من الشحنات الأساسية ($+e$) وعدد شحنات الإليكترون ($-e$) فى الذرة المتعادلة.

البروتون له رقم كتلى (Mass Number) واحد وشحنه (صفر) وبذا فإنه يرمز

له ^1_0n

الإليكترون أو جسيم B له كتلة مهملة وشحنه ($-e$) لذلك، فإنه يرمز له بالرمز $^0_{-1}\text{e}$.

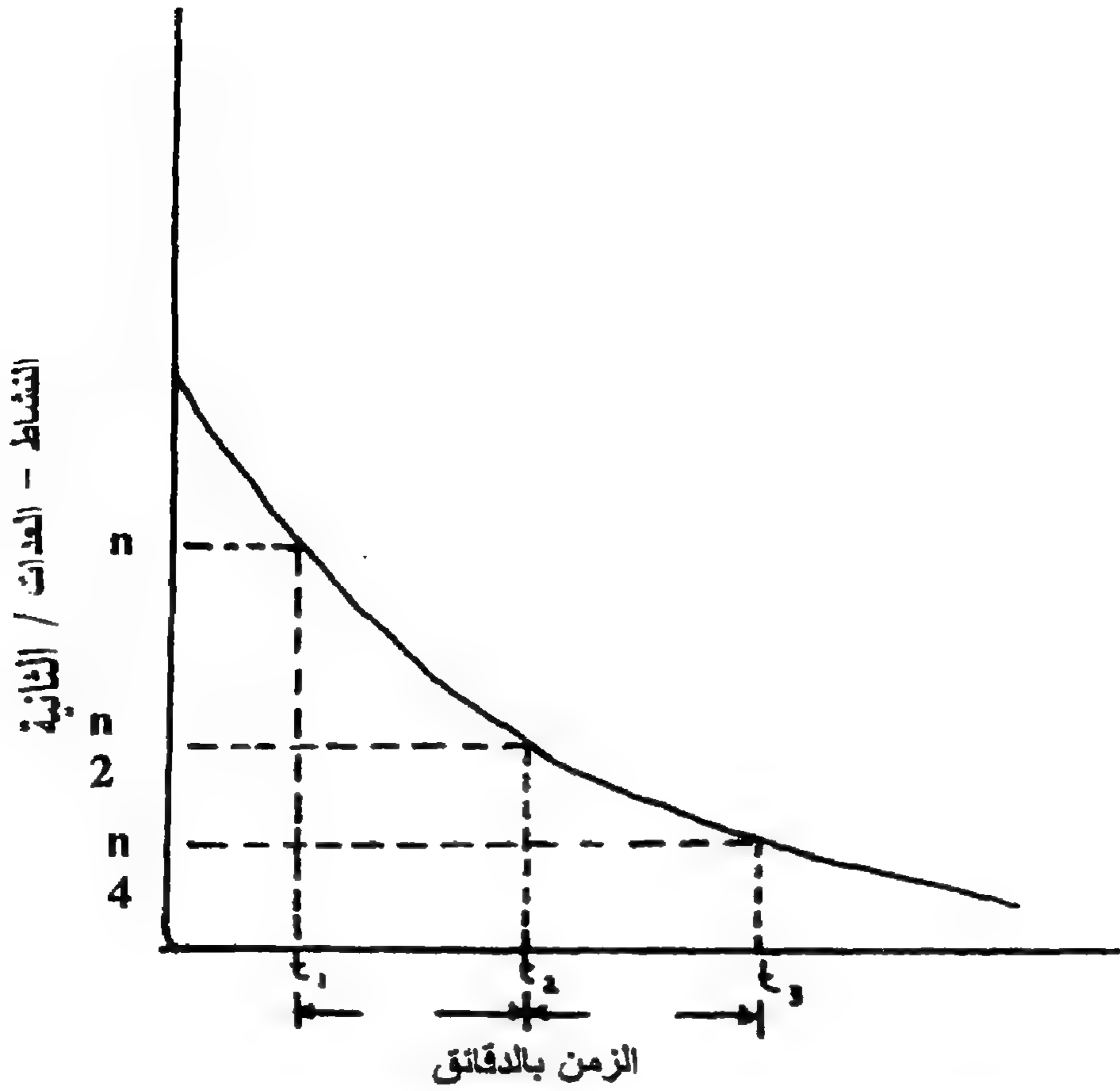
الفصل الثانى

١ - الأبحاث نحو انشطار النواة: (Splitting of The Nucleus):

فى عام ١٩٠٣ كون كلا من رزرفورد وسودى فكره أن النشاط الاشعاعى هو نتيجة التآكل (والتحلل) الفورى للذرة وذلك أثناء إبتعائها جسيم ألفا (α) أو جسيم بيتا (β). فى نفس الوقت تتحول الذرة إلى عنصر آخر، والذي مشع (Radioactive) وهذا بالتالى يتحلل ليصبح شئ آخر وهكذا. هذه التغيرات المتتالية تعرف بسلسلة التحول. الراديوم والبلوتونيوم الذي اكتشف بواسطة كوري هو ببساطة وصلتين فى سلسلة التحول التى تبدأ باليورانيوم - 238 وتنتهى بالنظر المستقر للرصاص. فمثلا، الراديوم يشع جسيمات ألفا ويتحول إلى غاز ثقيل يسمى رادون (Radon) الذى بعد إنبعاث (Emmitting) جسيمات بيتا وجسيمات ألفا يصبح بلونيوم (Plonium). عندما يطلق البلونيوم كذلك جسيم ألفا يصبح نظير مستقر من الرصاص.

٢ - نصف العمر: Half life

إنه ليس مفهوما ما الذى يسبب لذرة معينة أن تتفكك أو تتحلل فى لحظة معينة. النشاط عموما عشوائى ولا يوجد اختلاف ما إذا كان العنصر المشع مستخدما فى الحالة النقية أو بالاتحاد الكيميائى مع شئ آخر. كذلك، فإن التسخين أو التبريد ليس له تأثير على معدل التحلل (Decay). لقد أظهرت التجارب أن كل عنصر مشع له معدل محدد للتحلل والذي يمكن تمثيله تجاوزا بزمان نصف العمر (Half-life Period). زمن نصف العمر للمادة يعرف بأنه الزمن اللازم لتحلل نصف كمية أي مادة. الراديوم نفسه له نصف عمر ١٦٢٠ سنة، هذا يعنى أنه عند البدء بجرام واحد من الراديوم عندئذ نصف جرام منه سوف يتم تحلله فى ١٦٢٠ سنة. وبعد ١٦٢٠ سنة أخرى فإن النصف الذى بقى سوف يتحلل تاركا ٢٥ جرام وهكذا. نصف العمر يختلف كثيرا من عنصر إلى آخر. فمثلا نصف العمر للرادون هو أربعة أيام. نظائر مشعة أخرى لها نصف عمر قصير يتراوح من عدة ساعات إلى أقل من ثانية. وفى الاتجاه الآخر نرى أن اليورانيوم - 238 الموجود فى الطبيعة مصدر كل السلسلة التى تشمل الراديوم له نصف عمر ضخم $4,5 \times 10^9$ سنة.



شكل (٢/١) منحنى التحلل للمادة المشعة

يوضح منحنى تحليل النظير مشع تم بتوقيع مقياس المعدل (Ratemeter) المستخدم لقياس النشاط خلال فترة زمنية حوالى ثلاث أنصاف العمر. من هذا المخطط يمكن إيجاد نصف العمر كالآتى:

إذا كان معدل العد (Count Rate) هي (n) عند وقت ما (t_1) وهبط إلى $(\frac{n}{2})$ عند وقت (t_2) ، عندئذ فإن نصف العمر يكون $(t_2 - t_1)$.

بالمثل إذا كان معدل العد هبط إلى $(\frac{n}{4})$ عند وقت (t_3) فإن نصف العمر يكون $(t_3 - t_1)$.

التحلل الإشعاعى يستمر بالمعدلات التى لا يمكن أن تتغير بأى وسائل طبيعية أو كيميائية. بالنسبة لعنصر ما مشع يكون معدل التحلل فى أى وقت يتناسب فقط مع عدد النويات (Nuclie) (N) الموجودة. التغير فى عدد الذرات مع الوقت يرمز له بالمعادلة

$$-\frac{dn}{dt} = \lambda N$$

حيث λ هو ثابت الذى هو من خواص العنصر الذى يتحلل ويسمى ثابت التحلل.

عندما تكون $t = 0$ ، فإن القيمة الأولية هي N_0 عندئذ

$$\lambda = -\frac{20303}{t} \log \frac{N}{N_0}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{و}$$

$$\lambda = \frac{\text{عدد الذرات التى تتحلل فى وحدة الوقت}}{\text{عدد الذرات النشطة الموجودة}}$$

عدد الذرات النشطة الموجودة

جدول (٢/١) نصف العمر لبعض العناصر المشعة

العنصر المشع	$T_{1/2}$
Po-212	3×10^{-7} ثانية
Ti-206	٤,٢٣ دقيقة
Mg-28	٢١,٢ ساعة
Th-234	٢٤,١ يوم
u-238	$4,5 \times 10^9$ سنة

٣- قوانين التحلل الإشعاعى (Laws of Radioactive Decay)

لقد اكتشف رزفورد وسودى قانونين مرتبطين بالنشاط الإشعاعى وذلك من خلال متابعة الدقيقة لتحاليل لنواتج التحلل المختلفة فى سلسلة التحول (Transformation series) وهى :

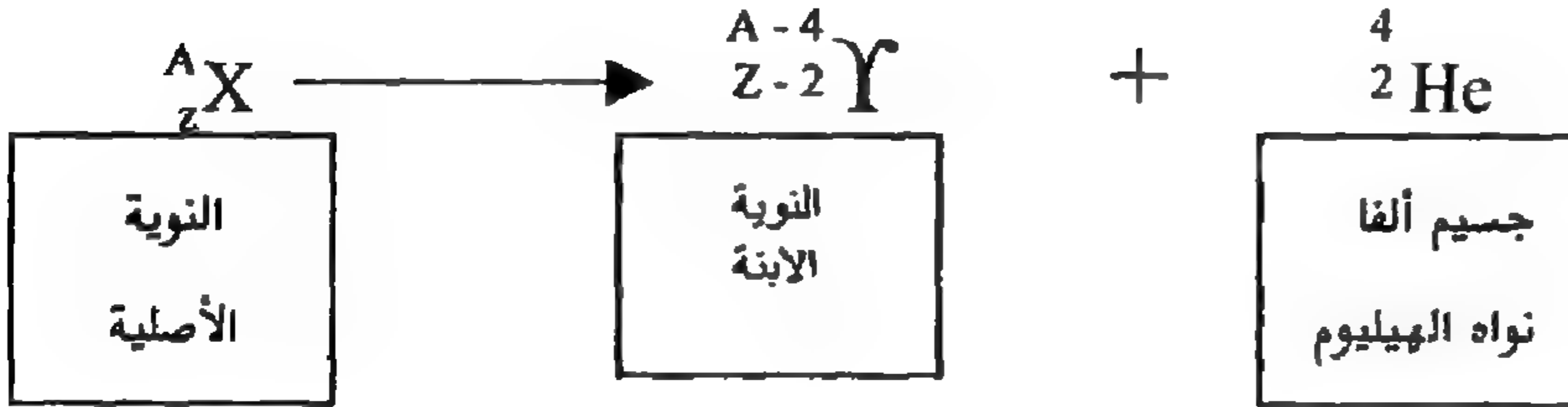
- (١) عند تحليل عنصر بانبيعات جسيم ألفا (α) فإنه يتحول إلى عنصر بخواص كيميائية تشبه هذه لعنصر سابق بمكانين فى الجدول الدورى.
- (٢) عند تحليل العنصر بانبيعات جسيم بيتا فإنه يتحول إلى عنصر له خواص تشبه تلك لعنصر فى مكان تالى للجدول الدورى.

تحلل ألفا : (Alpha Decay)

لقد عرفنا أن جسيم ألفا (α) يتكون من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات. لذلك فإنه عند انطلاق جسيم ألفا من نواته فإنه يفقد اثنين من الشحنات الموجبة أى أن رقمه الذرى (Atomic Number) يقل اثنين، وبالتالي يتحرك مكانين إلى الخلف في الجدول الدوري. الراديوم كمثال له عدد كتلى (Mass Number) $226 -$ ورقمه الذرى 88 ويرمز له بالرمز $^{226}_{88}\text{Ra}$. عند انطلاق جسيم ألفا منه فإنه يفقد أربع وحدات من الكتلة ويتحول إلى الرادون، والذي له عدد كتلى 222 ورقمه الذرى 86 $^{226}_{88}\text{Ra}$.

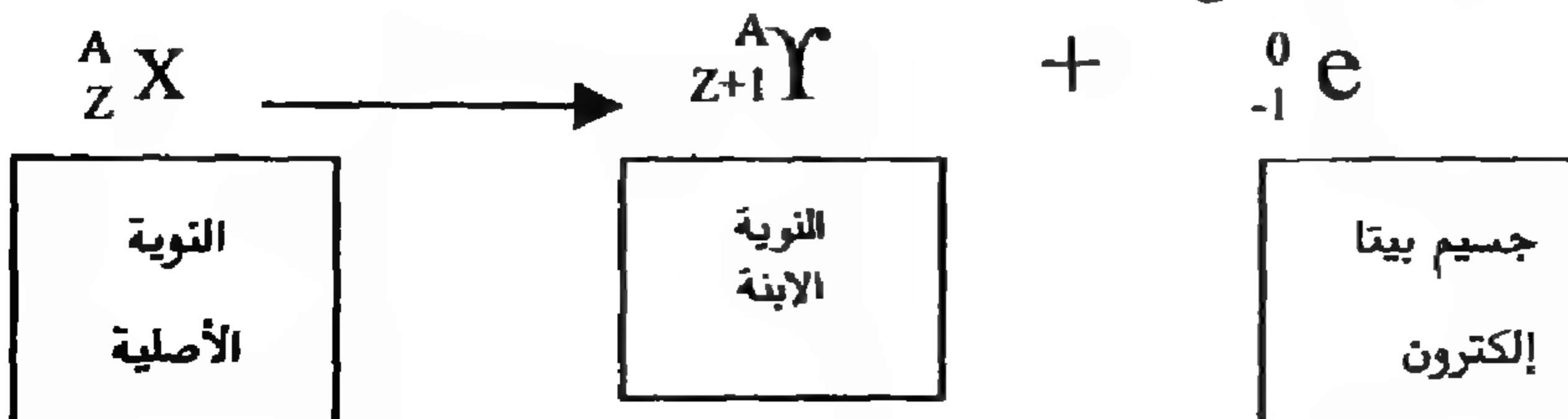
عموماً. إذا كانت النوية الأصلية (X) ذات عدد كتلى (A) ورقم ذرى Z وابتعثت جسيم ألفا لتكوين النوية الابنة Y . فإنه يمكن التعبير عن العملية بالرموز كالتالى:

تآكل ألفا:



تحلل بيتا Beta Decay

يبدو أن الإنتاج الفورى لجسيم بيتا (إلكترون) من النواة مرتبط بالخلق المتزامن لنوع آخر من الجسيمات الدون ذرية (sub - Atomic) التى تسمى (Antineut rions) وإن كانت مناقشة هذا خارج النطاق حالياً، إلا أن النتيجة النهائية هى أن الإليكترون يخلق فى لحظة القذف وفى هذه العملية يتحول النيوترون إلى البروتون. وبالتالي، فإن العدد الكتلى للنواة يظل كما هو بينما تزداد شحنتها الموجبة بواحد كيماويا هذا يتحول إلى عنصر أبعد بمسافة واحدة فى الجدول الدورى. مثال لهذا النوع من التحلل هو النظير المشع للصوديوم $^{24}_{11}\text{Na}$ الذى تنبعث منه جسيمات بيتا ويتحول إلى الماغنسيوم $^{24}_{12}\text{Mg}$ لذلك فإنه عندما تبعث النواة الأصلية جسيم بيتا (e^-) لتكوين النوية الابنة Y فإن هذه العملية يمكن تمثيلها بالآتى:

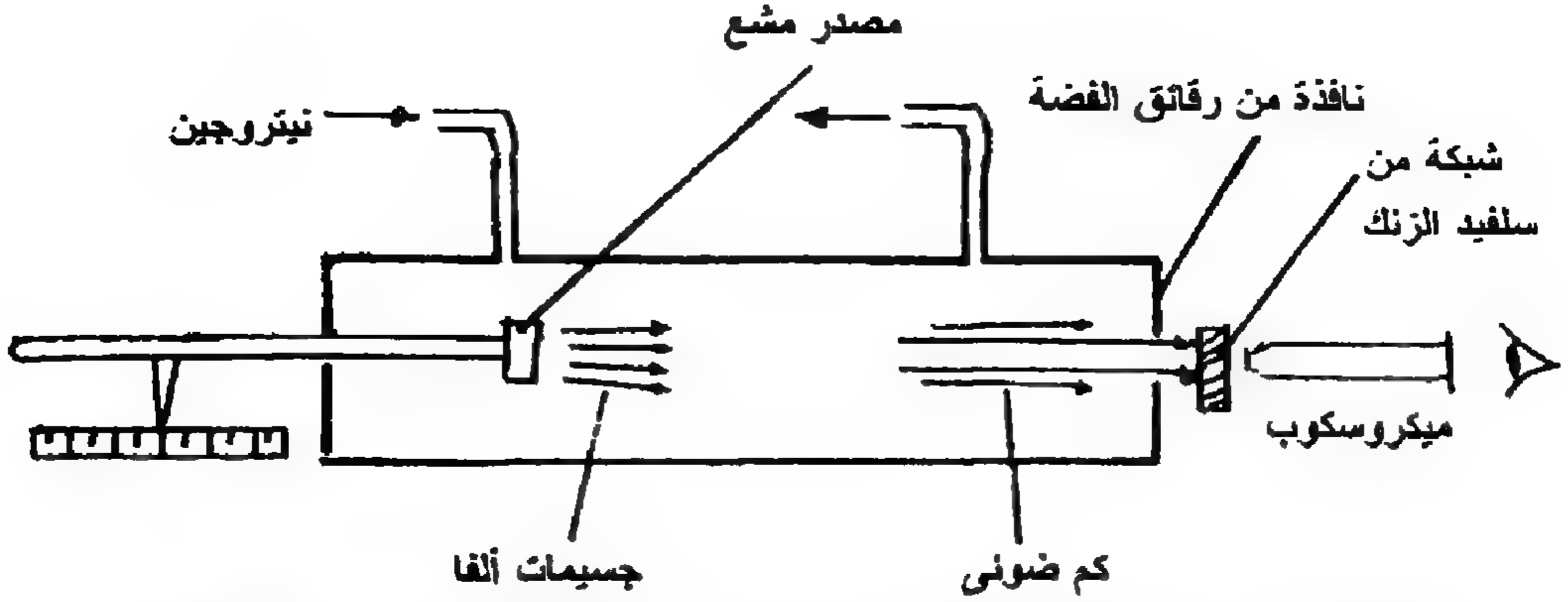


٤- كيف بدأ رزرفورد أول انشطار للذرة:

بعد نجاح العديد من التجارب التي قام بها رزرفورد ومعاونيه على بعثه (Scattering) جسيمات ألفا بواسطة الرقائق (foils) المعدنية والتي أعطت برهان لا يمكن إنكاره عن وجود النويات الذرية (Atomic Nuclei)، وبدأ رزرفورد في محاولة تأثير حرق جسيمات ألفا في غازات مختلفة. أقسام مارسون أنبوب مفرغ محتويا على مصدر ألفا وشاشة (Screen) من سلفيد الزنك ولاحظ الومضات الناتجة عند تصادم جسيمات ألفا مع الشاشة. قام عندئذ بزيادة مسافة الشاشة من المصدر حتى صارت بعيدة جداً بالنسبة لوصول جسيمات ألفا إليها. عندئذ، وعند إدخال قليل من الهيدروجين في الأنبوب، عاد ظهور الومضات. نظر لأن تلك لم تكن بسبب جسيمات ألفا، فإن مارسون وصل إلى نتيجة أنها كانت بسبب تصادم نويات الهيدروجين (البروتونات) التي تم طردها بواسطة جسيمات ألفا وقذفت إلى الأمام بسرعة عالية كافية للوصول إلى الشاشة. الحسابات المبنية على القوانين العادية للحفاظ على العزم وعلى الطاقة أكدت هذه النتيجة فقد كانت مثل كرة ذات ٤ وحدات كتلة (جسيم - ألفا) متحركة بسرعة ١٦٠٠٠ كيلو متر في الثانية تقريبا وصدمت كرة ذات وحدة كتلة واحد (البروتون) ودفعتها إلى الأمام بسرعة حوالى ٢٤٠٠٠ كيلو متر في الثانية.؟ لقد أعجب رزرفورد بتلك التجارب البسيطة وبدأ في عمل أبحاث أخرى. فقد اكتشف أنه يمكن استخدام جسيمات ألفا ليس فقط لقذف النواة إلى الأمام ولكن كذلك لشطرها إلى نصفين.

الشكل (٢/٢) يوضح الجهاز المستخدم وهو يتكون من أنبوب معدنى محتويا على مصدر ألفا الذى يمكن التحكم فيه. عند أحد النهاية نافذة رقيقة من الفضة (Foil)، وأنبوبتين بغرض إدخال الغازات المختلفة. أى جسيمات التي تمر خلال رقيقة الفضة تسقط على شاشة سلفيد الزنك وومضاتها يمكن ملاحظتها خلال المجهر وحاول رزرفورد أولا الأكسجين في الأنبوب، ولكن بدون نتيجة، وفي أى الحالات لم يتوقع قذف نويات الأكسجين، ذلك لأنها كانت أثقل كثيرا عن جسيمات ألفا. ولكن عند إدخال النيتروجين في الأنبوب ظهرت ومضات على الشاشة. قام رزرفورد بعمل بعض الاختبارات ووجد أن الجسيمات التي ارتطمت بالشاشة كانت هي البروتونات أو نويات الهيدروجين. الآن الكمية الصغيرة جدا من الهيدروجين المعروف بوجودها في الأنبوب كملوث كانت كافية لإحداث العدد الكبير من الومضات التي لوحظت. لقد وصل رزرفورد إلى نتيجة أن البروتونات التي سببت الومضات تمت بطرق نويات النيتروجين بواسطة

جسيمات ألفا السريعة، فى العملية تحولت نويات النيتروجين إلى نويات الأكسجين. وقد كان هذا اكتشافا مذهشا.



شكل (٢/٢) أثبت رزفورد أن ذرة النيتروجين يمكن تحليلها بالقذف بجسيمات ألفا

لذلك فإنه لأول مرة يتحقق حلم الكيميائيين فى تحويل مادة إلى مادة أخرى. والحقيقة أن رزفورد لم يحول الرصاص إلى ذهب ولكنه إستطاع فقط أن يغير النيتروجين إلى الأكسجين. وأن كان هذا تحول حاسم فى التقدم العلمى فى مجال أسرار الذرة، الذى مكنت الإنسان من تحويل مادة ما إلى مادة أخرى، والذى يصاحبها شئ ما ذو قيمة كبيرة أفضل من الذهب وهو الطاقة التفاعل النووى الذى حدث فى تجربة رزفورد للنيتروجين يتم تمثيلها بالآتى:



نواة
النيتروجين

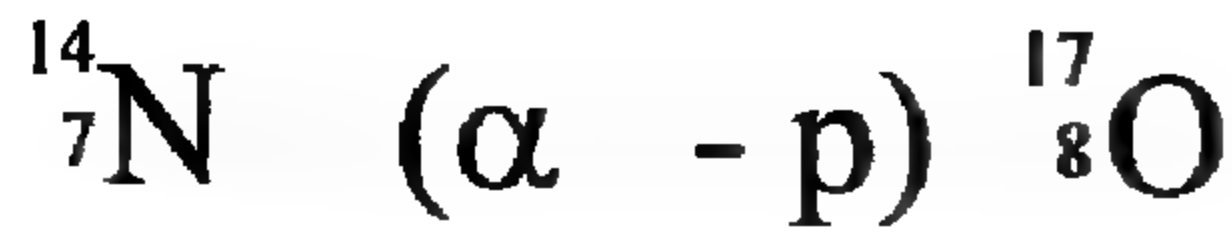
نواة الهيليوم
جسيم ألفا

نواة نظير
الأكسجين

نواة الهيدروجين
(بروتون)

وهذه يمكن تفسيرها كالآتى:

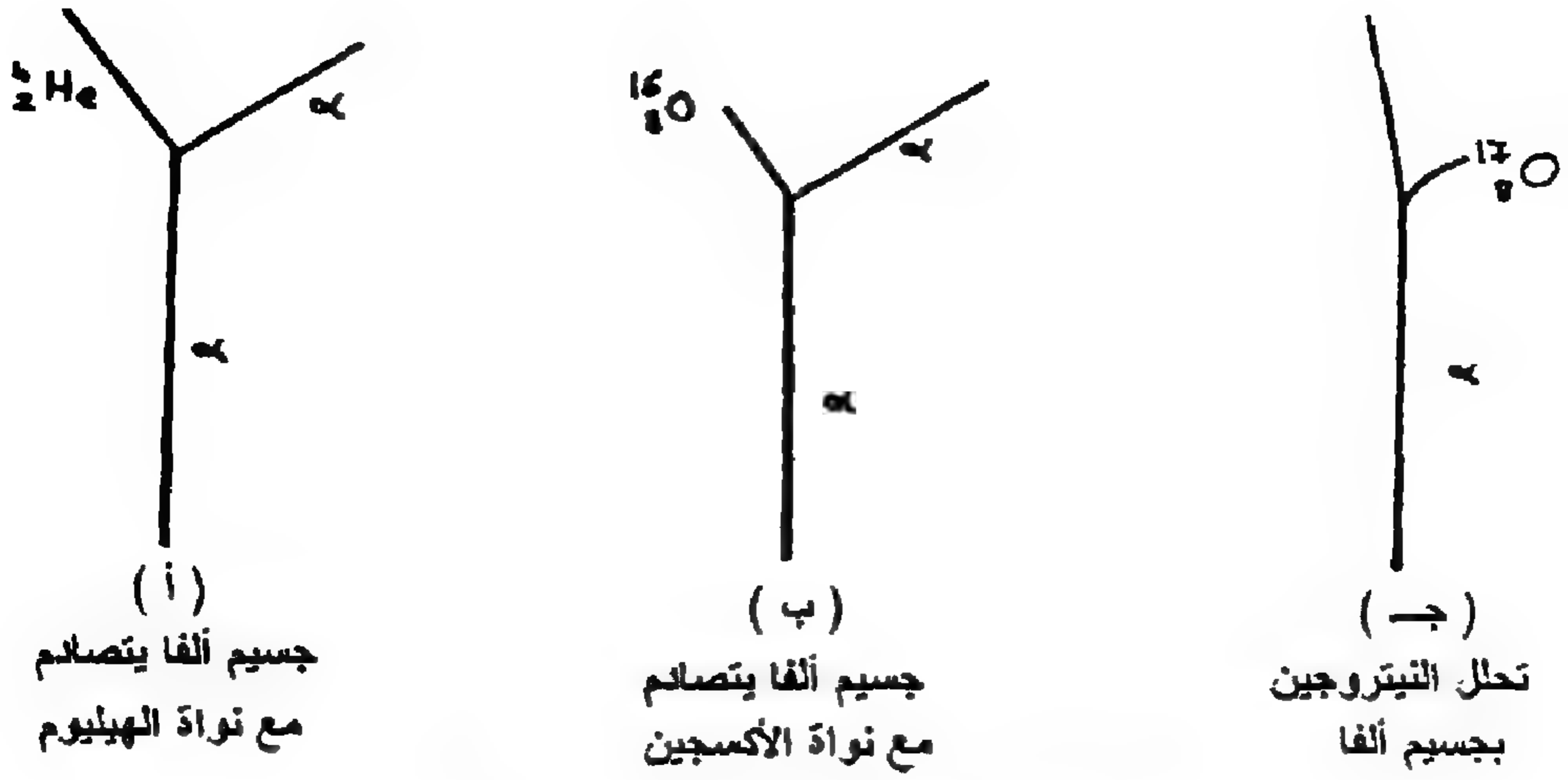
نواه النيتروجين المحتوية على سبعة بروتونات وسبعة نيوترونات يتم قذفها بواسطة جسيم ألفا (نواه الهيليوم) المكونه من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات، مكونه كتلة متجمعة غير مستقرة من تسع بروتونات وتسع نيوترونات. وهذه تقذف بروتون واحد على الطاقة وتصبح منقولة إلى نظير الأكسجين بعدد كتلى (Mass number) سبعة عشر. الرمز المختصر المستخدم لهذا التفاعل هى:



بعد تجربة النيتروجين نجح رزرفورد ورفاقه فى تفكك وتحلل أكثر من عشرة عناصر أخرى بالقذف بألفا والحصول على بروتونات سريعة. الحسابات التي تمت نحو مجال هذه البروتونات أظهرت أن لديها طاقات أكبر بكثير عن تلك لجسيمات ألفا. وهذا كان دليل قوى جدا فى أن جسيمات ألفا كانت القاذف للتفكك النووى والذى كان السبب فى انطلاق الطاقة النووية. لم تكن هذه حالة ارتطام بسيط، حيث جسيمات ألفا بعثت بجزء من طاقتها إلى البروتون، كما كان قد حدث عند ما قام ماردسن بأول قذف للبروتونات بقذف ألق.

٥- دراسات غرفة السحاب: (Cloud Chamber Studies)

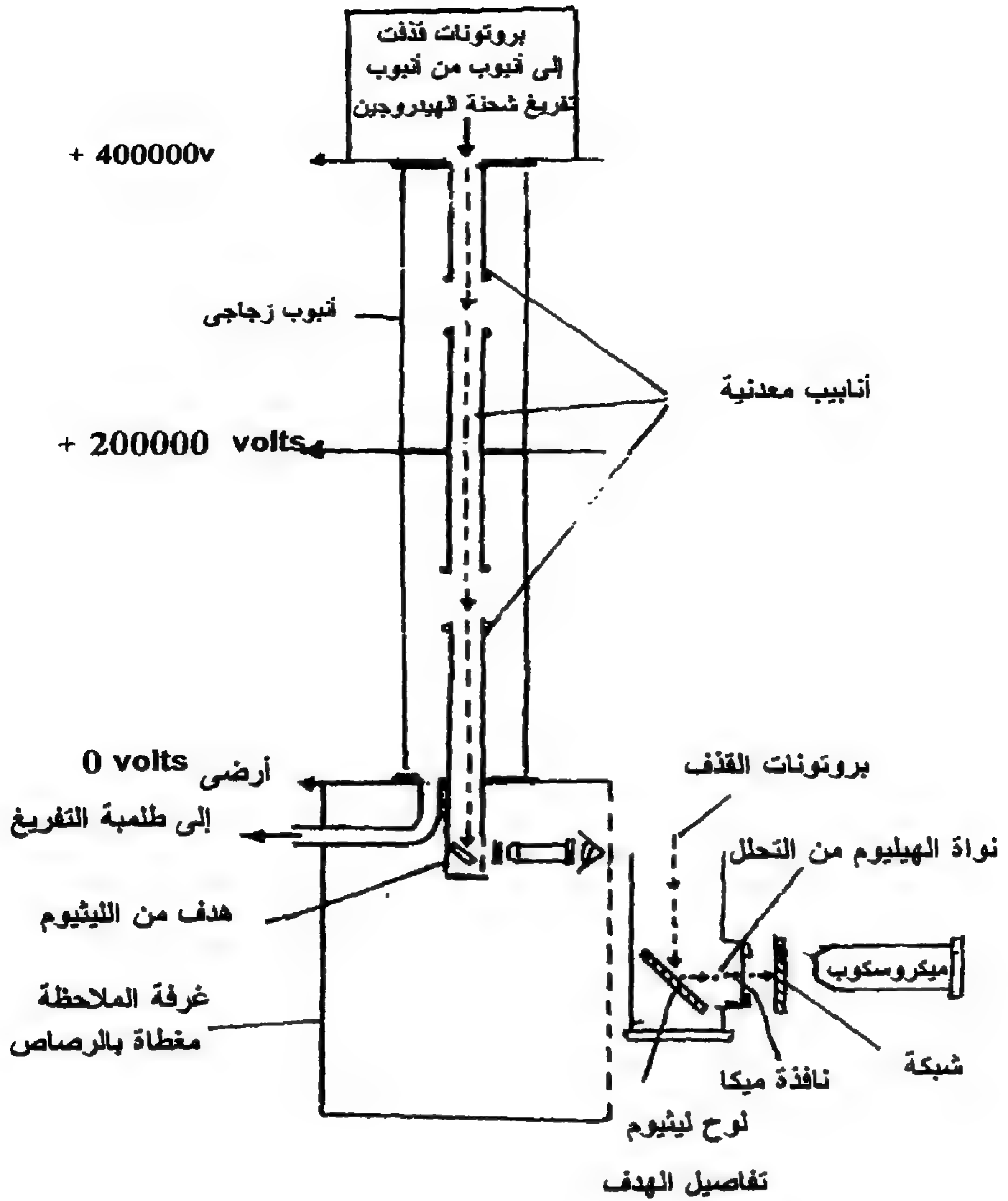
الظاهرة المساعدة لطبيعة التحلل الصناعى تمت فى عام ١٩٢٥ بواسطة البروفسير (Black Kett)، الذى أصبح رئيسا للمجمع الملكى عام ١٩٦٥. قذف (black Kett) جسيمات ألفا فى غرفة السحاب المحتوية على غازات مختلفة وكان قادرا على دراسة عمليات التصادم (collisions) العادية وكذلك التحلل. الشكل (٢/٣) يوضح المسار العادى للخط المستقيم لجسيم ألفا الذى تم ملاحظته. ولكن أحيانا يشكل المسار السحابة نهاية فى شكل شوكة. هذا ناتج من واحد من الحالات النادرة عند اقتراب جسيم ألفا قريبا من نواة ذرة الغاز التى تنحرف خارج مسارها. المسار المثير يكون بسبب إعادة التفاف النواة (recoiling). ولذلك، فعند قذف الهيليوم فإن كلا المسارين يكونا تقريبا عند زاوية قائمة ومتساويان فى الطول، كما هو متوقع من تصادم جسيمين لهما كتلة متساوية (جسيم ألفا فى نواه الهيليوم). ولكن فى حالة الأكسجين فإن المسار المثير يكون أقصر كثيرا بسبب الكتلة الأكبر لنواه الأكسجين مقارنة بجسيم ألفا. أكبر ما حققه بلاكيت هو ملاحظة تأكيد تحلل النيتروجين بقذف ألفا بعد محاولات عديدة حصل على صورة فوتوغرافية التى أظهرت مسار البروتون المقذوف عند ترك نواة النيتروجين والمسار الأكثر كثافة هو لنواة الأكسجين التى نتجت من تحلل نواة النيتروجين.



شكل (٢/٣) بعض مسارات غرفة السحاب

٦ - تجربة كوك روفت ووالتون: Cockcroft And Walton's Experiment

بنهاية عام ١٩٢٠ كان استخدام جسيمات ألفا لإحداث التحلل النووي قد تم دراسته بكثافة، وكان الشعور بالحاجة إلى مقذوفات أكثر قدرة على التحطيم. وقد عمل اثنين من علماء الطبيعة في معمل (Carendish) وهما جون كوك روفت وإيرنست والتون. بتبنى فكرة الإسراع للبروتونات (Accelerating) في مجال كهربى قوى واستخدام هذا بدلا من جسيمات ألفا لقذف الذرات. وبتشجيع من اللورد رزفورد استمرا فى العمل وفى عام ١٩٣٢ قاما ببناء الجهاز اللازم. ويظهر المخطط العام للجهاز المستخدم فى الشكل (٢/٤).



شكل (٢/٤) معجل البروتون لكوك روفت ووالتون

المجال الكهربى لإسراع البروتونات تم إنتاجه بواسطة ثلاث أنابيب معدنية وضعت فى صف واحد عمودى داخل أنبوب زجاجى مفرغ بطول 2 متر. بواسطة دائرة فوليته ذات الأربع أضعاف (Quadrupling) مكونة من صمامات ثنائية (Diodes) ومكثفات (Capacitors) ، تمت التغذية من محول التغذية من الخطوط الرئيسية الأوسط ٢٠٠٠٠ فولت بينما السفلى كان أرضى (Earthed)

أحد أنابيب تومسون لتفريغ الهيدروجين استخدمت كمصدر للبروتون. البروتونات منها تم قذفها إلى لأنبوب العلوى، حيث تم إسراعها بواسطة المجال الكهربى القوى بين الأنابيب، وأخيرا مزج من القاع بسرعة حوالى ٨٠٠٠ كيلو متر فى الثانية هنا اصطدمت مع لوح مصنوع من الليثيوم، حيث بعض التحكم لتسجيل صدمات مباشرة على نوبات الليثيوم سببا لهم الانفجار إلى شظايا. تلك الشظايا التي ثبت بعد ذلك أنها نويات الهيليوم، كشفت عن وجودها بإحداث ومضات على شاشة سلفيد الزنك. لقد اقتنع كلا الباحث أن الومضات لن تكون بسبب البروتونات التي قذفت الليثيوم، ذلك لأن تلك ليس لها الكافية لإعطائهم المجال الضرورى وكانت الومضات ذات خاصية جسيمات ألفا وليس البروتونات.

بعد ذلك نواتج التحلل تمر إمرارها فى غرفة السحاب. المسارات لنوبات الهيليوم الإثنين كان واضحا للرؤية، وهذا أكد النتيجة من التجربة الأصلية. كما سبق شرحه، إذا كانت نواه الليثيوم تتكون من ثلاث بروتونات وأربعة من النيوترونات. فعند إختراقها بواسطة البروتون فإنها تنشطر لتكوين إثنين من نويات الهيليوم وإثنين من النيوترونات. التفاعل النووى هذا يمثل بالآتى:



نواة
الليثيوم

بروتون

نواة الهيليوم
جسيم ألفا

نواة الهيليوم
جسيم ألفا

٧- تكافؤ الكتلة والطاقة (Equivalence of Mass And Energy)

فى عام ١٩٠٥ حيث أعلن أنشتين نظريته عن تكافؤ الكتلة والطاقة والتي أظهرت العلاقة بين الكتلة والطاقة طبقا للمعادلة.

$$E = mc^2$$

حيث طبقا للوحدات المناسبة

$$E = \text{الطاقة}$$

$$M = \text{الكتلة}$$

$$C = \text{سرعة الضوء}$$

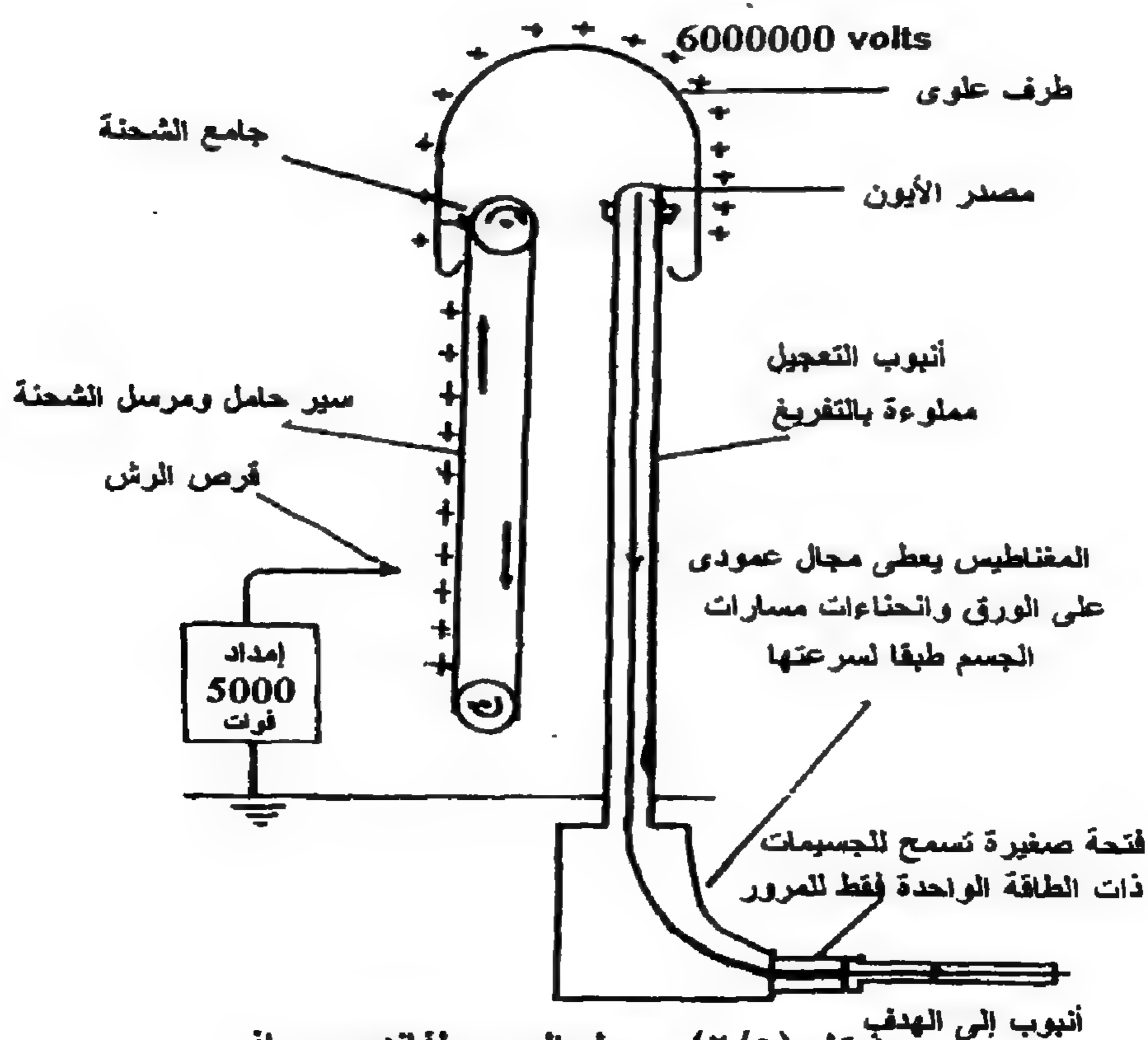
بعيدا عن أهميتها كأول انشطار كامل للنواة بفعل الإنسان. فإن تجارب كوك روفت ووالتون برهنت كذلك بالتجارب عن حقيقة معادلة أينشتاين.

عند تحليل النواة فإن مجموع كتل الشظايا المنتجة يكون دائما أقل قليلا عن كتلة النواة الأصلية. هذا الفقد في الكتلة يظهر كطاقة للشظايا. قام كوك روفت ، والتون بحساب الطاقة الكلية لكلا جسيمات الهيليوم المنطلقين وأظهر أنها كانت ذات علاقة بالفقد في الكتلة عند تحليل نواة الليثيوم، تماما طبقا لمعادلة أينشتاين.

٨- معجل الجسم لفاند يجراف

The Vande Graaff Particle Accelerator

في نفس الوقت حيث كان كلا من كوك روفت، والتون يبنيان معجل البروتونات في كامبردج، كان عالم الطبيعة الأمريكي الذي يسمى فاند يجراف يطور معجلا من نوع آخر. كان لهذا مولد كهروإستاتيكي الذي استعمل نقطة التأثير (Point Action) ومبدأ أن الشحنة على موصل أجوف تكمن على الخارج. الشكل (٢/٥) يوضح كيفية عمل الجهاز.



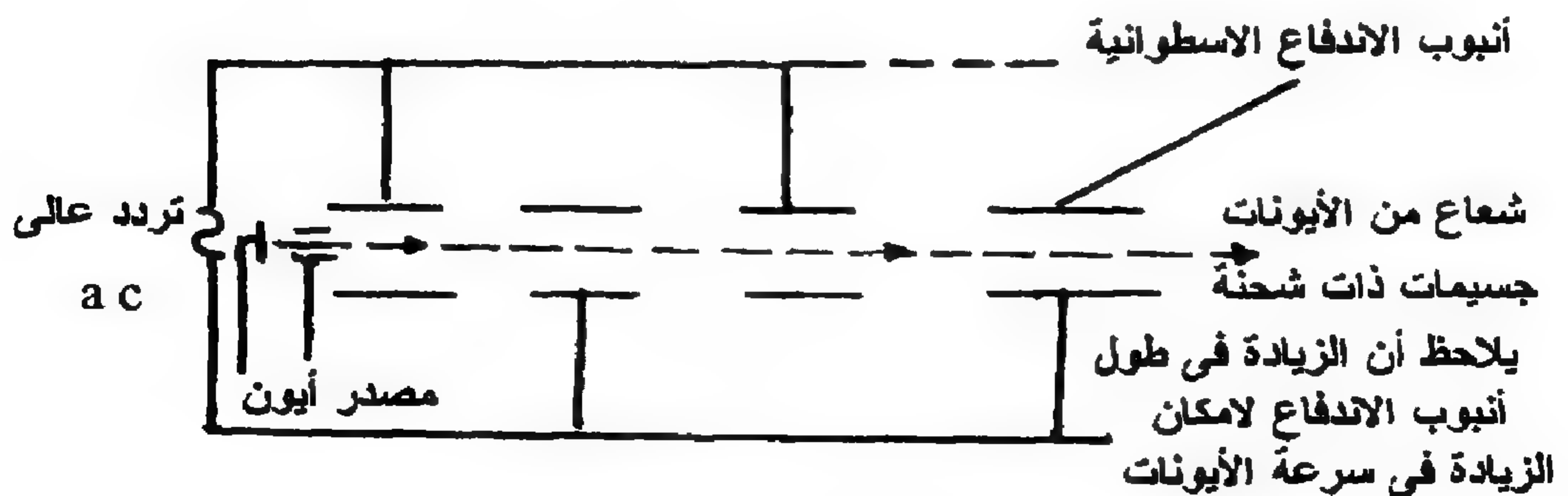
شكل (٢/٥) معجل الجسم لفاند يجراف وعاء الضغط المعزول الحامل غير موضح

دائرة المحول المقوم (Tranformer Rectifier) توفر الجهد العالى الأولى إلى رش مجزع (Spry Comb) مكونا من سلسلة من النقاط الحادة مجاورة لحزام متحرك طويل مصنوع من ورق من عزل خاص. يتم رش الشحنة الكهربائية بعيدا عن التجزيع وعلى السير بواسطة نقطة التأثير (Point action) وتحمل إلا أعلا داخل طرف أجوف لعمود العزل. هنا يتم إزالتها من السير بواسطة (Spray Comb) آخر متصل إلى داخل الطرف. عندئذ، تمر الشحنة إلى السطح الخارجى للطرف وتبنى تراكميا جهد عالى جدا، يحده فقط بكسر جهد الجو المحيط. كل الجهاز يكون فى وعاء ضغط محتويا غاز مثل النيتروجين أو الفريون، والذي يرفع بدرجة عالية جهد الانكسار.

يمكن الحصول على جهود حتى عشرة ملايين فولت بواسطة ماكينات فاند يجراف وتستخدم فى إنتاج أشعة (Beams) من الأيونات عالية الطاقة أسفل أنبوب التعجيل. مصدر الأيون المستخدم هو أنبوب تفريغ محتويا الهيدورجين، الديتيريوم أو الهيليوم، طبقا للمطلوب سواء بروتونات يمر شعاع الجسم خلال مجال مغناطيسى بزاوية قائمة نحو اتجاهها. هذا يجعل الشعاع ينحني بكميات مختلفة طبقا لسرعات الجسم. الشعاع عندئذ يصطدم على فتحة ضيقة التى تسمح بالدخول فقط للجسيمات ذات الطاقة المتجانسة إلى أنبوب الهروب (Flight Tube) فى طريقها إلى الهدف .

أ - المعجل الطولى linear Acceleator

نوع آخر من المعجلات موضح فى الشكل (٢/٦) يسمى المعجل الطولى ويتكون من سلسلة من أنابيب إنجراف متحدة المركز متصلة بالتبادل كما فى الشكل (٢ / ٦)



شكل (٢/٦) أداء المعجل الطولى

وهذه تعطى لهما فرق جهد متغير من مصدر تيار عالى التردد. يتم حقن شعاع ضيق من الجسيمات فى الأنابيب من مصدر أيون مناسب ويتم ضبط تردد جهد التيار المتغير (A.C) بحيث أن يغير الاتجاه بينما تعير الجسيمات الأنبوب، لذلك فإنها تعطى نبضة وتسرع (تعجل) عبر الفاصل بين الأنابيب. داخل الأنبوب فإنهم ينحدروا على طول بسرعة ثابتة، ذلك لأنه لا يوجد مجال كهربي داخل الأنبوب ذو الشحنة الأجوف. بهذه الطريقة الجسيمات يمكن إسرعها إلى طاقات عالية جدا. الميزة الرئيسية هي أن مشاكل العزل تكون عند أدناها. الجسيمات يتم تعجيلها بسلسلة من فروق الجهد الصغيرة بدلا من واحد أو اثنين كبيرين كما فى حالة طرق فاديجراف وكوكروف والتون على التوالي.

ب- الإشعاع السيكتروتروين (The Sgnchrotron)

حاليا، الأبحاث فى علم طبيعة الأجسام عادة تتم باستخدام سيكتروتونات البروتون. فى هذا، يتم إسرع البروتونات بواسطة مجال تيار متغير (A.C) موجهها بواسطة مجال مغناطيسى على زوايا قائمة فيه. بهذه الطريقة الجسيمات يتم إسرعها على طول المسار الدائرى الذى منه يمكن أن يتم استخلاصها بواسطة مغناطيسيا ارتجاج (Kicking Magnets) للاستخدام فى تجارب مختلفة. النفق المحتوى على السينكروتون ألقائق للبروتون لمنظمة الأبحاث الأوربية النووية قطرة حوالى ٢,٢ كيلو متر وفيه يتم إسرع البروتونات بطاقات حتى ٤٠٠ جيما فولت (400 Gev)

وحدجة الطاقة المستخدمة فى العلوم الطبيعية للجسم هي الإليكترون فولت (e.v) (Electron Volt)، وهى الطاقة اللازمة لتحرك الإليكترون (أو البروتون) خلال فرق جهد واحد فولت وحدات أخرى هي:

$$1\text{kev} = \text{ألف اليكترون فولت } (10^3)$$

$$1\text{ mev} = \text{مليون اليكترون فولت } (10^6)$$

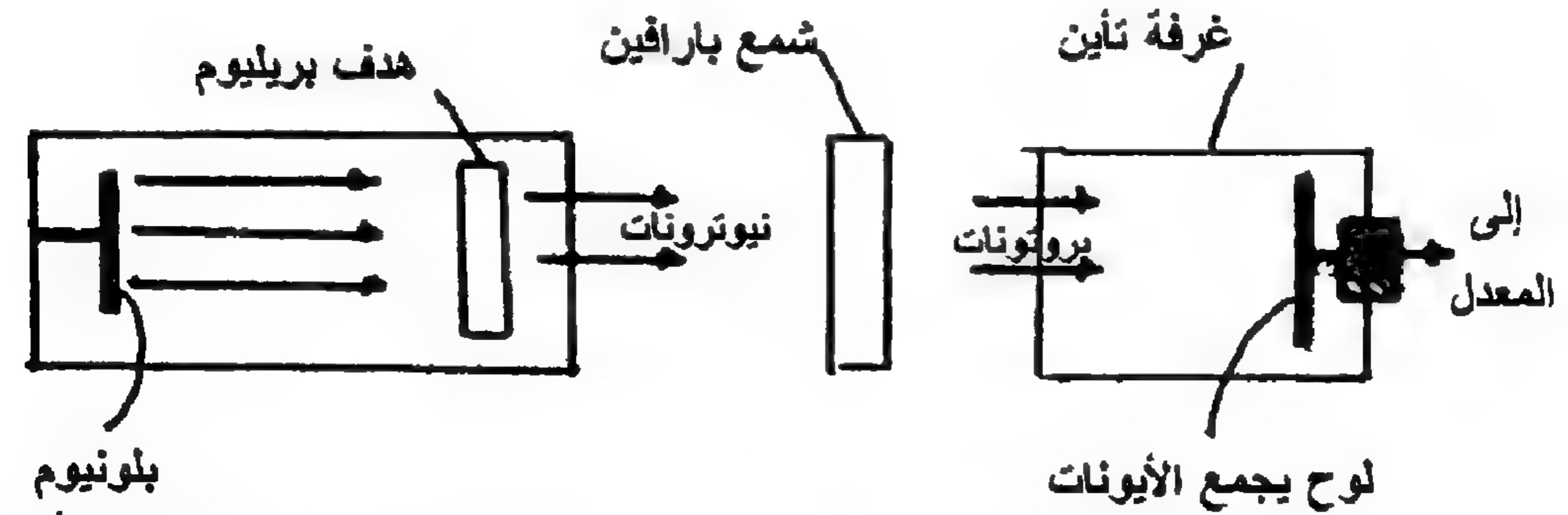
$$1\text{ Gev} = \text{ألف مليون اليكترون فولت } (10^9)$$

بواسطة الجسيمات ذات الطاقة العالية جدا التى تم الحصول عليها من تلك الماكينات، فإنه يمكن تفتيت نواة الذرة فى الأغراض المختارة إلى جسيمات وشظايا، حيث طبيعتها يتم بحثها بغرف الفقاعة السابق ذكرها.

٩- إكتشاف النيوترون: Discovery Of The Iventron

النيوترون الذى تم وصفه سابقا كأحد نوبات أو مكونات الأجسام الذى تتكون منه نوبات الذرات، تم إكتشافه بواسطة جيمس شادويك عام ١٩٣٣. ولقد بدأت هذه القصة فى عام ١٩٣٠ عندما وجد اثنين من علماء الطبيعة الألمان انه عند قذف البريليوم وعناصر خفيفة معينة أخرى بواسطة جسيمات ألفا تم إنتاج بعض من الإشعاع شديد الاختراق والذى يمكن أن يمر بسهولة خلال عدد كبير من السنتيمترات من معدن الرصاص. ابنة مدام كورى وزوجها قاما بتجارب بإشعاع جديد ووجدوا أنها تسبب بروتونات ذات طاقة عالية جدا تم قذفها خارج مركبات محتوية على الهيدروجين. وجدوا البديل أن هذا الإشعاع هو ببساطة إشعاع جاما ذو طاقة عالية غير عادية ولكن، عند قيامهم بعمل الحسابات. لقياس طاقات الكم الضوئى لجاما (Gamma Photons) كانت النتيجة لا تنطبق مع قوانين الحفظ على الطاقة والعزوم.

المشكلة تم حلها أخيرا بواسطة شادويك (Chadwick) الذى أشار إلى أن كل تلك المصاعب تختفي إذا اعتبرت الإشعاعات أنها مكونة من جسيمات لا تحمل شحنة بدلا من فوتونات جاما. الجهاز الذى استخدمه موضح فى الشكل (٢/٧)



شكل (٢/٧) إكتشف شادويك النيوترونات عام ١٩٣٣

لوح مصنوع من معدن البريليوم تم قذفه بواسطة جسيمات ألفا والإشعاع الجديد منه سمح له بالتصادم على لوح من شمع البارفين. البروتونات تم دفعها من البارفين واكتشافها بواسطة غرفة تأين. قام شادويك بقياس طاقات البروتونات وكان قادرا عندئذ لإظهار أنه إذا كانت العملية عولجت كحالة تصادم بسيط بين البروتونات وجسيمات ليس لها شحنة بنفس الكتلة، عندئذ فإن كل الحسابات ستتطابق مع قوانين الحفظ

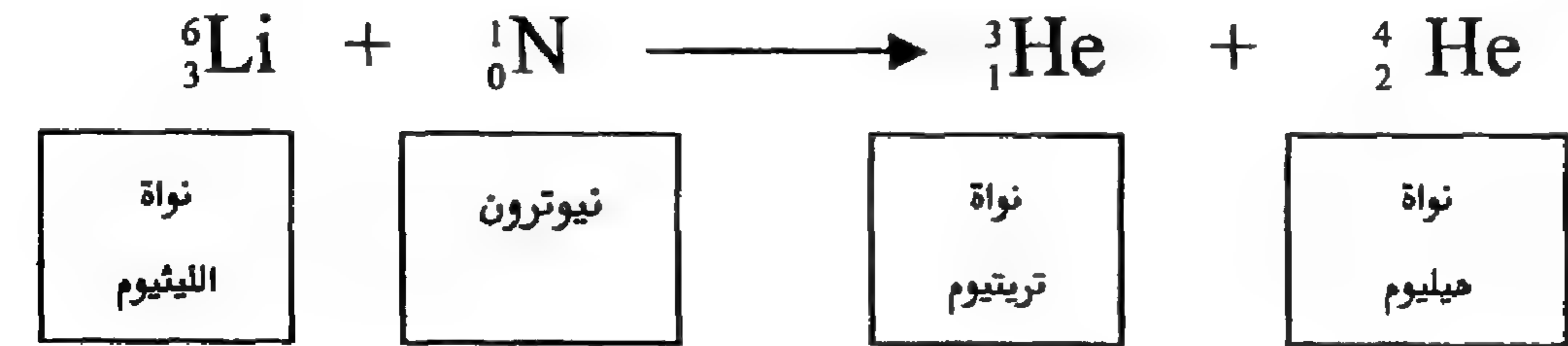
على الطاقة وعلى العزوم. هذا الجسيم الذى تم اكتشافه أعطى له اسم النيوترون (Neutron).

أ – التفتت بالنيوترونات (Disintegration By Neutrons)

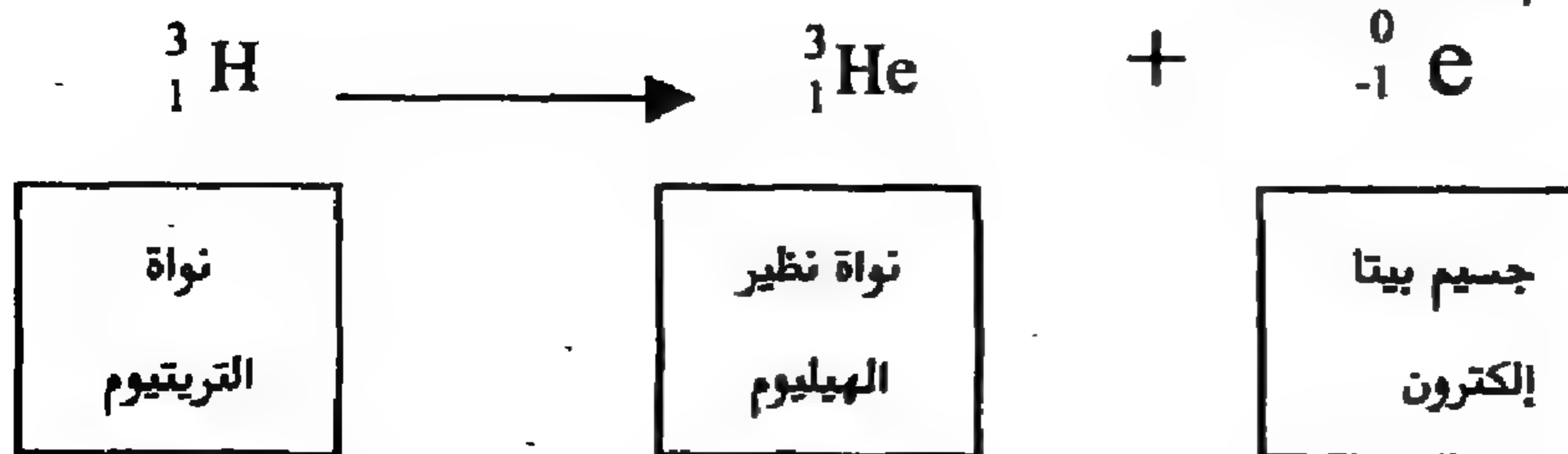
اكتشاف النيوترون أوجد قذيفة شديدة الأهمية لانشطار الذرة تحت تصرف العلماء. بخلاف جسيمات ألفا، كان المتاح فقط الذى يمكن التحكم فيه لقذف النويات وهما تحديد البروتون والديوترون (نواة الهيدروجين الثقيل – Deuteron). الشحنة الموجبة على كلا تلك الجسيمات تمكنهم فى الإسراع إلى طاقات عالية بالمجالات الكهربائية، ولكن فى نفس الوقت كانت شحنتهم كذلك من السلبيات. هذا يعنى انه يتم دفعهم بشدة بعيدا عن النواة، وبالتالي القليل جدا الذى كان قادرا على اختراق النواة. ونظرا لعدم حمله لشحنة كهربية فإن النيوترون لا يمتلك هذه السلبية.

فى عام ١٩٣٣ وجد أن معظم العناصر يمكن انشطارها بنجاح بالقذف بالنيوترون، وتم الحصول على كثير من المنتجات المفيدة. لنأخذ حالة الليثيوم – 6 كمثال. فى حالة قذف هذا بنيوترون فإنه ينتج نظائر مشعة للهيدروجين تسمى التريثيوم (${}^3_1\text{H}$)، والذى يكون باعث للبيتا بنصف عمر ١٢,٢٦ سنة.

فى التفاعل النووى يمثل النيوترون بالرمز (n) ، بمعنى أنه جسيم له عدد كتلى يساوى واحد وشحنة كهربية تساوى صفر. لذلك يمكن تمثيل تفاعل الليثيوم – نيوترون كالآتى:



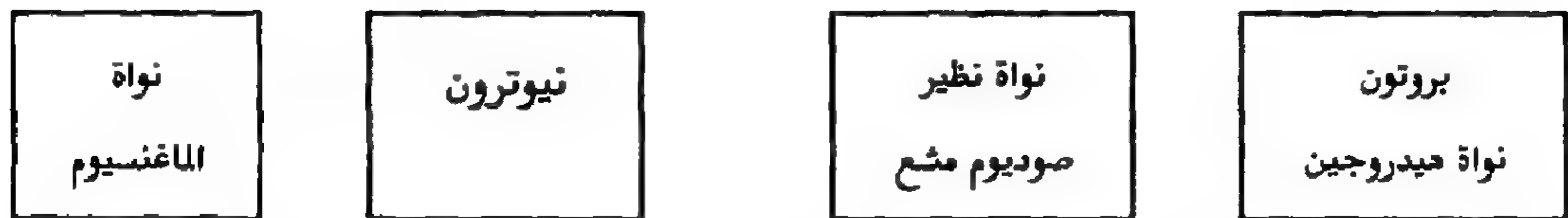
التحلل التالى للتريثيوم هو كالآتى:



حالة أخرى ملفته لأداء. النيوترون على الماغنسيوم، والتي هي نموذج لعدد من التفاعلات الذى فيها المنتج النهائى يشبه الأصلى. عند إقتناص الماغنسيوم للنيوترون فإنه يتحول إلى الصوديوم - 24، ويصاحب ذلك قذف بروتون.

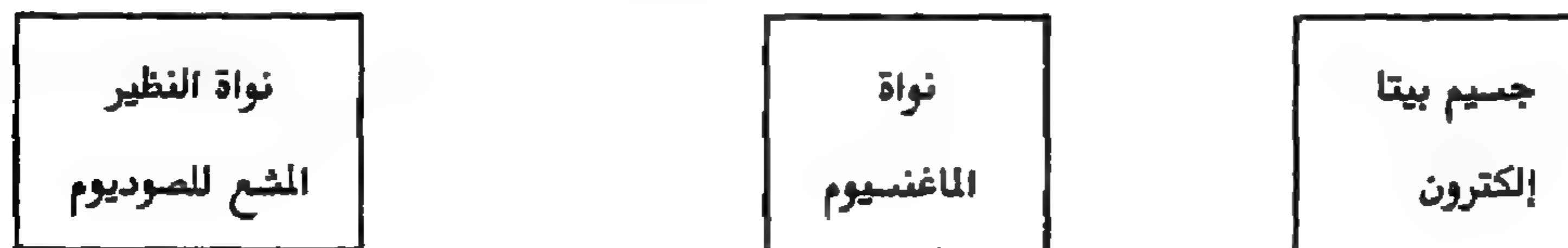
نواه الصوديوم المتكونة هي نظير مشع له نصف عمر حوالى ١٥ سنة، والتي تتآكل لتعود ثانياً إلى الماغنسيوم مع انبعاث جسيم بيتا. هذه التفاعلات تمثل كالاتى:

إشعاع الماغنسيوم بالنيوترونات:



تحلل صوديوم - 24 إلى الماغنسيوم - 24 الغير ضار بحيث أن كميات صغيرة منه مناسبة لتتبع دراسات الدورة الدموية.

تحلل بيتا لنظير الصوديوم:



ب - الانشطار النووي (Nuclear Fission)

أمثلة اقتناص النيوترون الذى تم وصفه متعلقة بالانشطار النووي إلى جزئين غير متساويين. فى عام ١٩٣٩، بحيث كلا من (Hahn and Trassmah) أداء النيوترونات على اليورانيوم - 235 ووجدوا أنه انشطر إلى جزأين متساويين تقريبا، أحدهما ثبت أنه الياريوم والآخر الكريبتون. ولقد وصف هذا بالانشطار النووي (Nuclear Fission). أهمية الانشطار هو أنه يصاحبه انطلاق طاقة مقدارها عشرة أضعاف المنطلقة فى حالة التحلل العادى، حيث تنسلخ قطعة صغيرة فقط خارج النواة. تفاعل انشطار اليورانيوم كان أول استخدام ناجح له فى إنتاج الطاقة الحرارية على مستوى كبير بواسطة عالم الطبيعة الإيطالى (Enrico Fermi) فى جامعة شيكاغو عام ١٩٤٢.

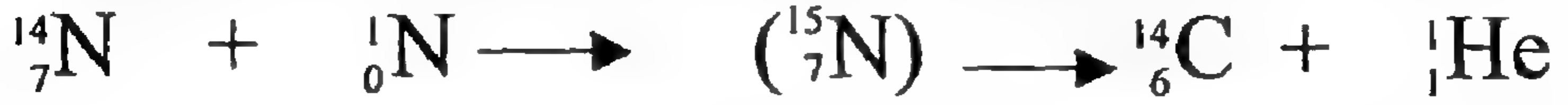
١٠- التفاعلات النووية (Nuclear Reactions)

جميع النويات باستثناء (^1_1H) تحتوى على نوعين من الجسيمات أو الدقائق الأساسية - البروتونات والنيوترونات. بعض النويات غير مستقر ويبعث دقائق و/أو إشعاع مغناطيسى فى نفس الوقت. مثل هذا الانبعاث الفورى من النواة يسمى النشاط الإشعاعي (Radio activity). فمثلاً $^{238}_{92}\text{U}$ تنبعث منه فوراً دقائق ألفا.



مثل هذا التحول يسمى التفاعل النووى.

التفاعلات النووية يمكن كذلك إحداثها صناعيا فى نوبات معينة. مثل هذا التفاعل النووى الصناعى يسمى (Transmutation)، أى تحول عنصر أو نظير إلى آخر. فمثلاً، عند قذف نواه $^{14}_7\text{N}$ المستقرة بنيوترون، يحدث هذا التحول كما فى المثال التالى.



لذلك ، فإن التفاعل النووى يمكن أن يكون طبيعياً أو صناعياً.

أ - مقارنة التفاعلات النووية والتفاعلات الكيميائية :

التفاعلات النووية تختلف عن التفاعلات الكيميائية فى بعض الاعتبارات الهامة

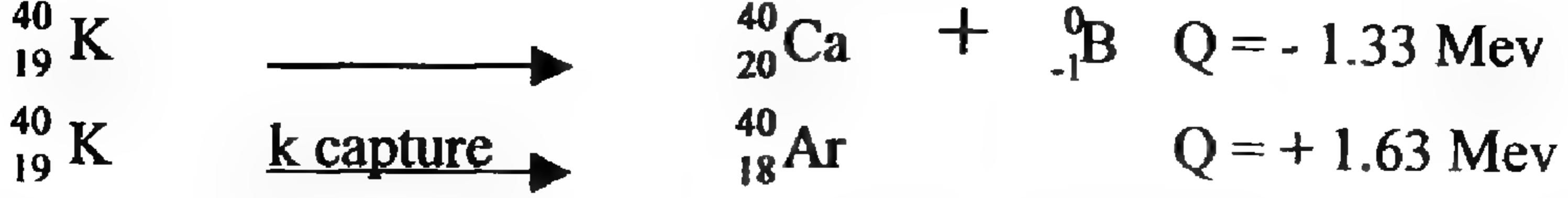
الموجزة فى الجدول الآتى :

جدول مقارنة التفاعلات النووية والتفاعلات الكيميائية.

التفاعلات الكيميائية	التفاعلات النووية
- تحدث تغيرات فى مناطق بعيدة عن النواة.	- تحدث تغيرات فى النواة
- يعاد تنظيم الذرات وذلك من خلال الكسر أو تكون أربطة (Bonds).	- يعاد تنظيم النواة حيث تتحول نواة إلى أخرى.
- الذى يشارك هو فقط الاليكترونات المدارية.	- تشترك البروتونات والنيوترونات وجسيمات أولية أخرى
- يصاحبه امتصاص أو انبعاث كميات صغيرة نسبياً من الطاقة.	- يصاحبه امتصاص أو انطلاق كميات مهولة من الطاقة.
- معدلات التفاعل تتأثر بالظروف التجريبية.	- معدلات التفاعل لا تتأثر طبيعياً بالحالات التجريبية مثل درجة الحرارة والضغط والتركيز والعامل الوسيط
- التفاعلات هى العادية.	- فاعلات نادرة

ب - تشعب التحلل الإشعاعي (Branching Radio decay)

النواة المشعة يمكن أن تتحلل بأكثر من طريقة فمثلا $^{40}_{19}\text{K}$ يتحلل بطريقتين :



طريقتى التحلل تنتج منتجين مختلفين، لهما ثابت تحلل مختلف. لكل مائة نوية من ^{40}K ، يتحلل 89 نواه بواسطة انبعاث بيتا والباقي إحدى عشر نواة باقتناص إلكترون. التحللات المتشعبة تشكل جزءا من السلسلة الإشعاعية.

فى اقتناص (Capture) الإليكترون البروتون النووى يقتنص إلكترون مدارى ويصبح نيوترون.

التسلسل الاشعاعى (Radioactive Series)

عند تحلل نواه مشعة، فإن المنتجات المتكونة يمكن أن تكون مشعة كذلك، عندئذ فإن النواتج سوف يحدث لها تحلل تالى. هذا التحلل على مراحل يستمر حتى تكون مركب مستقر، مثل هذه النويات، بدءا من النواة الأصلية المشعة إلى النواة الأخيرة المستقرة، تشكل السلسلة الإشعاعية. مثل هذه السلسلة الإشعاعية موضحة فى الجدول فهى تبدأ باليورانيوم الطبيعى ^{238}U وتسمى سلسلة تحلل اليورانيوم.

جدول سلسلة اليورانيوم $(4n+2)$ للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
اليورانيوم	U232	α	4.5×10^9 سنة
الثوريوم	Th234	β	24,5 يوم
Practinium	Pa234	β	1,14 دقيقة
يورانيوم	U234	α	2.67×10^5 سنة
ثوريوم	Th 230	α	8.3×10^4 سنة
راديوم	Ra 226	α	1.62×10^3 سنة
رادون	Rn 222	α	3,82 يوم
بلونيوم	Po 218	β, α	3,05 دقيقة
99,96% رصاص +	Pb 214	β	26,8 دقيقة
0,04% أستاتين	At 218	α	2 ثانية
بزمث	Bi 214	β, α	19,7 دقيقة
0,04% ثاليوم +	Th210	β	1,32 دقيقة
99,96% بلونيوم	Po 214	α	1.5×10^{-4} ثانية

٢٢ سنة	β	Pb 210	رصاص
٤,٨٥ سنة	$\alpha \beta$	Bi 210	بزمث
٤,٢٣ دقيقة	β	Th 206	ثاليوم +
١٣٨,٣ يوم	α	Po 210	بولونيوم
	مستقر	Pb 206	رصاص.

حوالى ٤٠ من النظائر الطبيعية للعناصر ذات أرقام ذرية أعلا تشكل ثلاث تسلسلات للتحلل، واحدة هي سلسلة تحلل اليورانيوم، الاثنان الآخران هما سلسلة الثوريوم وسلسلة أكتينيوم تلك الثلاث تسلسلات للتحلل تسمى التسلسل الطبيعي للتحلل.

جدول سلسلة الثوريوم (4n) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
الثوريوم	Th 232	α	١٠ × ١٠ ^{١٠} سنة
راديوم	Ra 228	β	٦,٧ سنة،
Actinium	Ac 238	β	٦,١٣ سنة،
ثوريوم	Th 228	α	١,٩ سنة،
راديوم	Ra 224	α	٣,٦٤ يوم
رادون	Rn 220	α	٥٤,٥ ثانية
بولونيوم	Po 216	$\alpha \beta$	٠,١٦ ثانية
رصاص +	Pb 212	β	١٠,٦ ساعة
أستاتين	At 216	α	٥٤ ثانية
بزمث	Bi 212	$\alpha \beta$	٦٠,٥ ثانية
بولونيوم +	Po 212	α	١٠ × ١٠ ^{-٧} ثانية
تالسيوم	Tl 208	β	٣,١ دقيقة.
رصاص	Bp 208	مستقر	

جدول سلسلة أكتينيوم (Actinium) ($4n+2$) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
يورانيوم	U 235	α	10×10^7 سنة
ثوريوم	Th 231	β	٢٤,٦ سنة
Protactonium	Pa 231	α	10×10^4 سنة
أكتينيوم	Ac 227	$\alpha \beta$	٢١,٧ سنة
+ ٩٨.٨٪ ثوريوم	Th 227	α	١٨,٩ سنة
Francium ١,٢٪	Fr 223	β	٢١ دقيقة
راديوم	Ra223	α	١١,٢ يوم
رادون	Rn219	α	٣,٩٢ ثانية
بولونيوم	Po215	α	1×10^{-8} ثانية
رصاص	Pb211	β	٣,٦١ دقيقة
بزمث	Bi 211	$\alpha \beta$	٢,١٦ دقيقة
+ ٩٩,٦٨٪ بولونيوم	Po211	α	10×10^{-8} ثانية
٠,٣٢٪ ثاليوم	Tl 207	β	٤,٧٦ دقيقة
رصاص.	Pb207	مستقر	

جدول سلسلة النبتونيوم ($4n+1$) للعناصر المشعة:

العنصر المشع	النظير	الإشعاع	نصف العمر
بلوتونيوم	Pu241	β	١٣ سنة
Americium	Am 241	α	٤٧٠ سنة
Neptunium	Np237	α	10×10^6 سنة
Protactinium	Pa233	β	٢٧,٤ يوم
Uranium	U233	α	10×10^5 سنة
ثوريم	Th 229	α	1×10^4 سنة
راديوم	Ra 225	β	١٤,٨ يوم
أكتينيوم	Ac 225	α	١٠,٠٠٠ يوم
Francium	Fr 217	α	٤,٨ دقيقة

٠,٠٢ ثانية	α	At 217	Astatine
٢٧ دقيقة	$\alpha \beta$	Bi 213	بزمث
$٤,٢ \times ١٠^{-٦}$ ثانية	α	Po 213	٢٪ بولونيوم +
٢,٢ دقيقة	β	Th 209	٩٨٪ ثاليوم
٣,٣ ساعة	β	Pb 209	رصاص
	مستقر	Bi 209	بزمث.

ج - تسلسل التحلل الطبيعي (Natural Decay Series)

- ١- كل سلسلة تحلل يتم تسميتها بالعنصر السائد في هذا التسلسل.
- ٢- التسلسلات الثلاث يشار إليها كآتي: $4n$ (ثوريوم) ، $4n + 2$ (يورانيوم) ، $4n + 3$ (أكتينيوم) ، نظرا لأن الأعداد الكتلية (Mass numbers) لتلك العناصر قابله للقسمة على 4 أو على 4 مع الباقي 2 أو 3.
- ٣- المنتج النهائي لكل تسلسل هو النظير المستقر من الرصاص.
- ٤- في كل تسلسل بعض النظائر النشطة يحدث لها تحلل متشعب. في التحلل المتشعب يتحلل النظير بطريقتين ، معطيا منتجين ، يسميان منتجات متشعبة.
- ٥- في كل تسلسل بعض النظائر النشطة يحدث لها تحلل متشعب. في التحلل المتشعب ، يتحلل النظير بطريقتين ، معطيا منتجين ، يسميان منتجات متشعبة. فمثلا Po - 218 في سلسلة اليورانيوم يحدث له كلا من تحلل α ، β معطيا Pb - 214 ، At - 218 على التوالي. منتجات التشعب دائما تتحلل إلى نفس المنتج. لذلك فإن Pb - 214 ، At - 218 ، ينتجا Bi - 214.

د - سلسلة تحلل النبتونيوم: (Neptunium $4n+3$)

سلسلة التحلل تلك التي سبق توضيحها متعلقة بتخليق النظائر ، لذلك فإنها تسمى سلسلة التحلل الصناعي. فهذه السلسلة تبدأ بالبلوتونيوم - 241 (Pu - 241) وتنتهي (Bi - 209). هذه السلسلة تختلف عن الثلاث تسلسلات للتحلل الطبيعي بالنسبة للاعتبارات الآتية:

- ١- كل عناصر هذه السلسلة ، عدا العنصر الأخير لا توجد في الطبيعة.
- ٢- المنتج النهائي ليس نظير للرصاص ولكنه نظير للبزمث (Bi).

٣- هذه السلسلة لا تحتوى على نواتج غازية من الرادون على الثلاث تسلسلات الطبيعية.

١١- إشعاعات ألفا، بيتا، جاما وما يصاحبها من تغير فى الطاقة.

أ- إشعاعات ألفا (Rays):

تتكون إشعاعات ألفا من سيل من جسيمات ألفا. جسيم ألفا يشبه نواة الهيليوم من 4He تلك الجسيمات يمكنها اختراق المادة ولكن قوة اختراقها ضعيفة. هذه الأشعة تنتج أيونات فى المادة التى تسقط عليها. جسيمات ألفا تنحرف بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية بسبب شحنتها الموجبة شكل (١/٦) جسيمات ألفا تنبعث عموماً بواسطة النويات المشعة ذات رقم ذرى (Z) كبير. فمثلاً، Po^{212} هو له نشاط ألفا



جسيم ألفا يتكون من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات، لذلك فإن المجموع يكون له رقم ذرى (Z) اثنين وحده أقل وعدد كتلى (A) أربع وحدات أقل. تحليل ألفا يزيد نسبة النيوترونات إلى البروتونات (P: n). هذه النسب لـ Po-212 تساوى 1.52 وتزداد إلى ١,٥٤ فى Pb-208. زيادة نسبة P: n تجعل Pb-208 نظير مستقر.

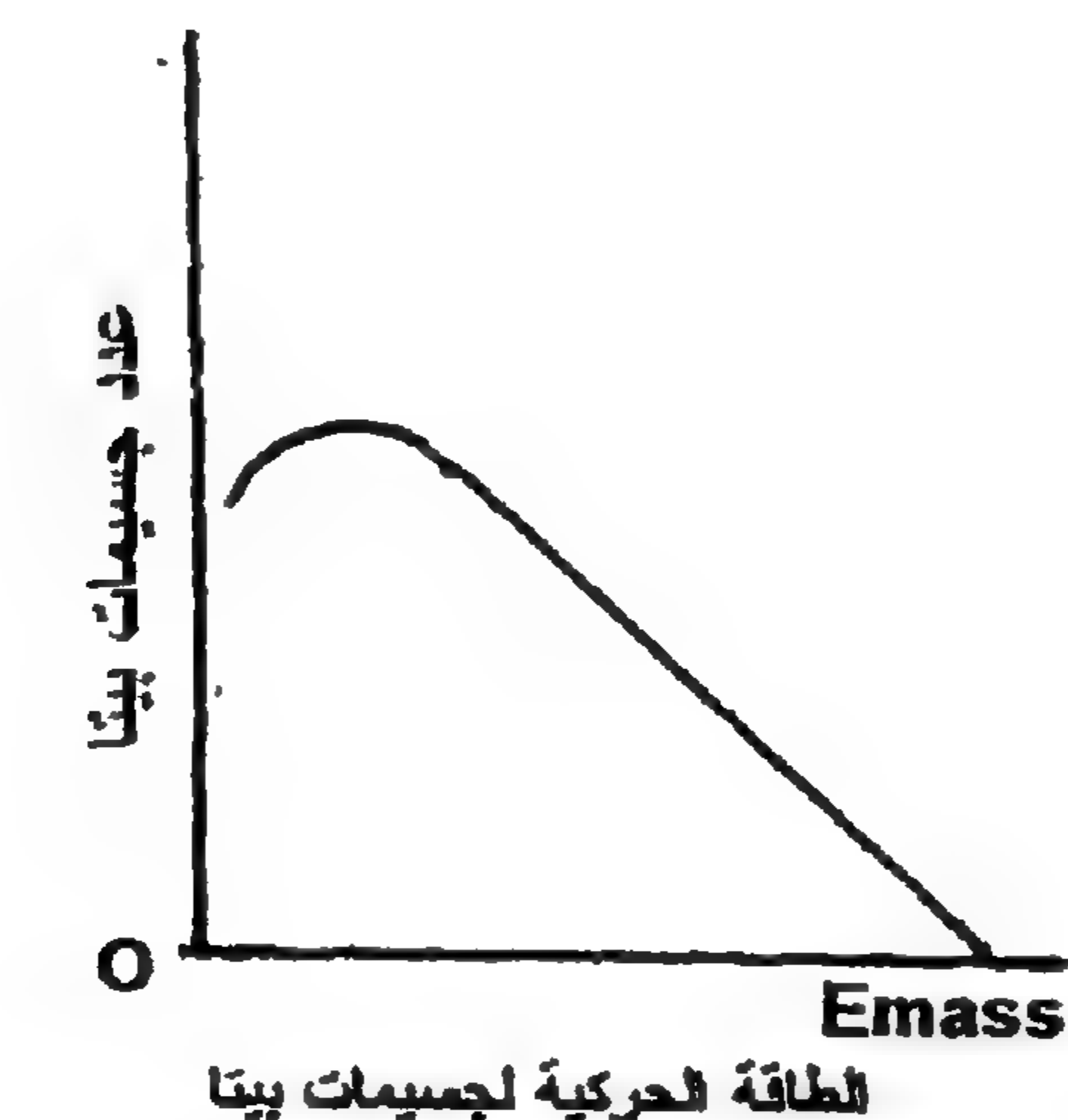
ب- إشعاعات بيتا:

أشعاعات بيتا هى كذلك تتكون من جسيمات. جسيمات بيتا تشبه الإلكترونات، مع كتله صغيرة جداً، ووحدة شحنة سالبة فمثلاً،



P-32 يعرف إنه نشط بيتا. عند انبعاث النواة لجسيم بيتا، فإن النواة المنتجة لها رقم ذرى واحد يزيد عن ذلك لمادة التفاعل. نظراً لأن جسيم بيتا ذو كتلة مهلهمة، فإنه عند انبعاثه لا يغير فى العدد الكتلى (Mass Number). لذلك فإنه عند انبعاث جسيم بيتا من P-32، فإنه يتكون العنصر التالى فى الجدول الدورى وهو S-32. أشعة بيتا التى تتكون من جسيمات دقيقة لها قوة اختراق أكبر من أشعة ألفا. فهى يمكنها المرور خلال مسطح من الألومنيوم رقيق بسمك ٢ - ٣ ملليمتر. قوة تأينها (Ionizing power) أقل من تلك لأشعة ألفا. أشعة بيتا بسبب شحنتها السالبة فإنها تنحرف بواسطة المجالات الكهربائية والمغناطيسية. ولكن هذا الانحراف هو فى اتجاه معاكس لانحراف

أشعة ألفا شكل (١/٦)، فى كل تحليل بيتا، يتكو جسم دقبق إضافى ىسمى أنتى نىو
 ترينو Antineutrino (وىرمز له $\bar{\nu}$) أى المضاد لنىوترون. تكون هذا الجسم ىكون ضروريا
 لىتطابق التحلل مع قوانىن الحفاظ. كذل؁ فإن انبعاث النىوترىنو ىفسر طىف الطاقة
 المصاحب لجسىمات بىتا. الطاقة المنطلقة فى انبعاث بىتا (β^-) تحمل كطاقة حركىة
 بواسطة جسم (β^-) والأنثى نىوترىنو. النواة المنتجة لكونها أثقل؁ فإن طاقتها المرتدة
 (Recoil) ىمكن إهمالها. الطاقة الحركىة لكل جسىمات بىتا (β^-) التى تتكون من
 عتبة نشاط (β^-) لىست متشابهة؁ ولكنها تتراوح استمرار من صفر إلى الأقصى شكل
 (٢/٨). هذا لأن جسىمات (β^-) الدققة نتصادم فىما بىنها وكذلك الأنثى نىوترونات؁
 بما ىؤدى التبادل العشوائى للطاقات. هذا لا ىحدث فى جسىمات ألفا المنتجة من مصدر
 له نفس الطاقة الحركىة.



شكل (٢/٨) طىف طاقة أشعة بىتا

جسىم بىتا المنبعث بواسطة عنصر نشط لا شك انه لىس إلكترون مدارى. لذل؁ فإنه
 ىجب أن ىكون مصدره من النواة نفسها عند انبعاث بىتا؁ ىكون المنتج له رقم ذرى (Z)
 أكبر من ذل؁ للمادة الأصلية. لذل؁ فإن تحول النىوترون إلى البروتون وجسىم بىتا تم
 افتراضه.



رغم أن جسىم بىتا مثل الإلكترون؁ إلا أنه ىرمز له بالرمز β^- لبيان أنه أصلا من
 النواة.

ج - إشعاعات جاما: (γ) (Gamma Rays)

انبعاث أشعة جاما عادة يلي انبعاث أشعة ألفا أو بيتا بواسطة النويات المشعة. في التحلل الإشعاعي، النواة المنتجة تكون عادة في حالة مثارة (Excited). مثل هذه النواة المثارة ليست مستقرة وتبعث طاقتها الزائدة كإشعاع جاما ثم تتحول إلى حالة الهمود. أشعات جاما هي إشعاعات كهرومغناطيسية أو كم ضوئي (Photons) ولا تحتوى أى جسيم مادي (خلاف أشعات ألفا وبيتا). وهي لها طول موجه قصير ولذلك فهي ذات طاقة عالية ($E = hc/\lambda$). مكونات النواة.

[nucleons] أى البروتونات والنيوترونات] فى النواة توجد فى مستويات طاقة مستقلة متفرقة وغير مترابط (Discrete) [مثل الاليكترونات الزائدة عن النواة - Extranuclear Electrons. النواة يمكن أن تتأثر بالطاقة وهذه النواة المثارة يقال إنها فى حالة - الأزمره (Isometric) وهذا يعنى التماثل فى التركيب والاختلاف فى الخواص. الحالة النووية المثارة هى شبه مستقرة أى الاستقرار مؤقت (Metastable) ويرمز لها بالرمز (m) بعد عددها الكتلى (Mass Number).

$^{103}_{44}\text{R}$ هذه نواه غير مستقرة فهي تتحلل بانبعث جسيم بيتا (β^-) مكونه نواه الرديوم (Rhodium) المستقر. Rh المنتج يكون فى حالة الأزمره (Isometric). فهو يتحلل إلى حالة الهمود بانبعث أشعة جاما. هذه التغيرات موضحة فى الشكل (N.c). إشعاعات جاما التى تنبعث بمختلف النويات المشعة لها أطوال موجات مختلفة (طاقات). شكل (١/٣).

١٢- خواص الإشعاع للتحلل الاشعاعي:

Properties Of Radioactive Decay

جدول خواص إشعاعات ألفا، بيتا، جاما:

جسيمات ألفا	الشحنة	الكتلة النسبية	
جسيمات بيتا	موجبه (+ 2)	4	$\alpha, {}^4_2\text{He}$
إشعاع جاما	سالبة (-1)	0.0005	β
	متعادلة (صفر)	0	γ

أمثلة لطاقة إشعاع ألفا، بيتا:

١- طاقة تحلل ألفا:

المجموع الكتلي لكل من ^{208}Pb ، ^4He

$$4.0026 + 208 - 0414 =$$

$$.a\ m\ u\ 212.044 =$$

$$212.0519 = ^{212}\text{Po}\ \text{كتلة}$$

$$212.0440 - 212.0549 = \text{الفقد في الكتلة}$$

$$a\ m\ u\ 0.0109 =$$

[Unified Atomic Massunit) a m u (الوحدة العيارية للكتلة الذرية U].

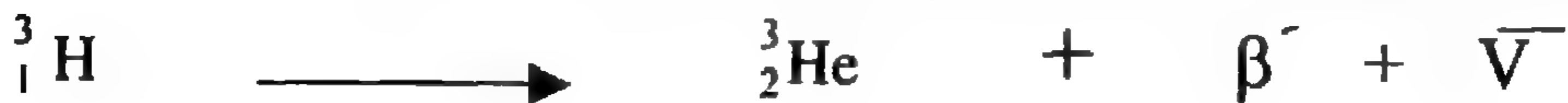
$$931.5\ \text{Mev} = 1\ a\ m\ u$$

$$0.0109 \times 931.5 = \text{الطاقة المتعلقة}$$

$$\text{Mev } 10.15 =$$

٢ - طاقة تحلل بيتا:

لحساب أقصى طاقة حركية لجسيم B' منبعث أثناء التحلل



الحل:

$$\Delta M = M^3_2\text{He} - M^3_1\text{H}$$

$$= (3.01600690 - 3.0160493)\ a\ m\ u$$

$$= 0.0000197\ a\ m\ u$$

$$E = \Delta M \times 931.5\ \text{Mev}\ a\ m\ u^{-1}$$

$$= (0.0000197)(931.5)\ \text{Mev}$$

$$= 0.0184\ \text{Mev}$$

لذلك فإن أقصى طاقة حركية لـ B' هي 0.0184 Mev.

الفصل الثالث

الأجسام الأساسية ونواة الذرة:

Fundamental Particles And Atomic Nucleus

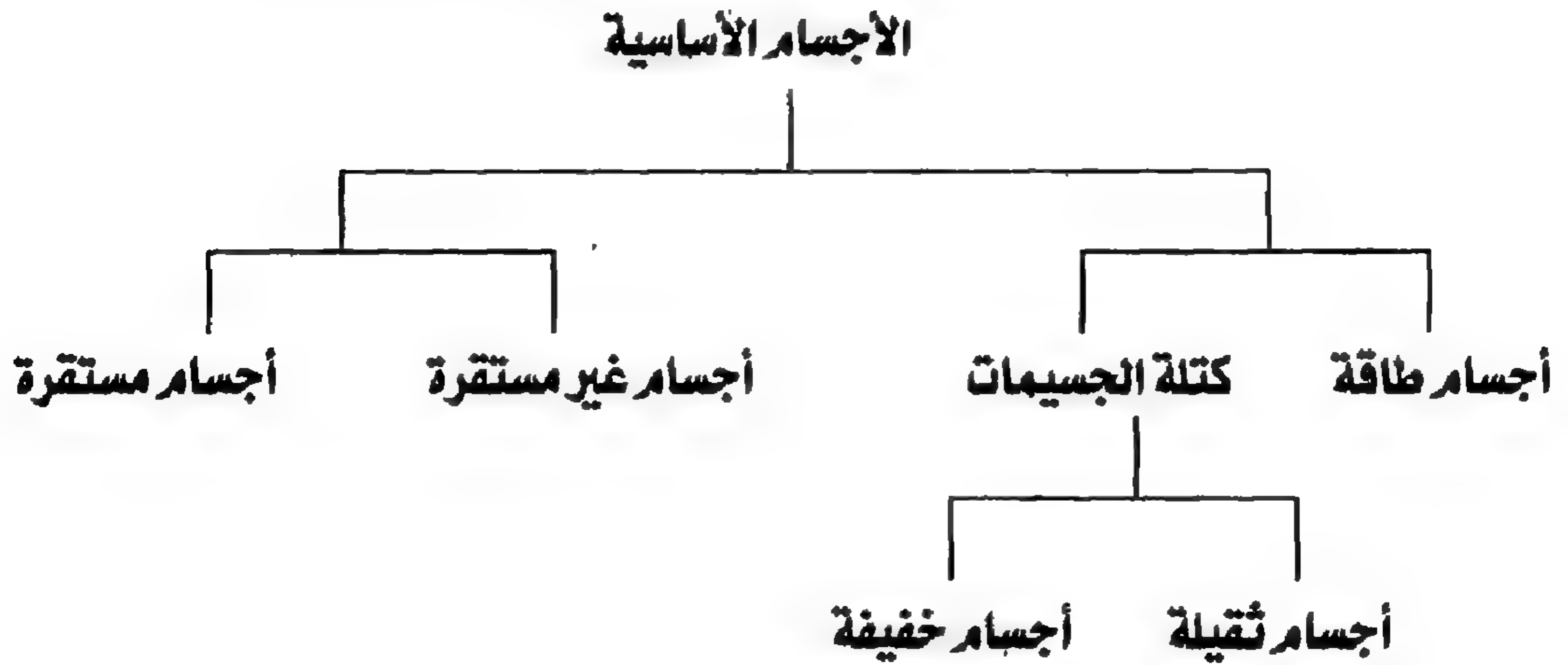
١- الأجسام الأساسية:

تتكون الذرة من بروتونات (Protons)، نيوترونات (Neutrons) وإلكترونات (Electrons).

الجسم الأساسي هو إما من مكونات النواة أو ناتج من النواة. توجد أجسام عديدة أخرى مثل (Masons , Neutrions) الخ وهذه تسمى أجسام أساسية كذلك.

تقسيم الأجسام الأساسية:

الأجسام الأساسية يمكن تقسيمها بطرق مختلفة طبقا لاستقرارها وكتلتها:



الأجسام الأساسية يمكن تقسيمها إلى الأجسام المستقرة والغير مستقرة. الإلكترون والبروتون هما أجسام مستقرة، النيوترون والبوزيترون هما بعض من الجسيمات الغير مستقرة.

على أساس الكتلة تنقسم الجسيمات إلى جسيمات ذات كتلة وجسيمات طاقة (ليس لها كتلة). البروتون والنيوترون هما بعض من جسيمات الكتلة، الكم الضوئي لأشعة جاما (Gammaphoton)، الجرافيتون (Graviton) هو الوسيط النظري لتفاعلات الجاذبية بين الجسيمات) والنيوترينو (Neutrino) هي دقيقة ذرية متعادلة دون الإلكترون كتلة) هذه جسيمات ليس لها كتلة. كتلة الجسيمات تنقسم إلى جسيمات خفيفة (مثل

الإليكترون والبوزيترون)، جسيمات متوسطة الكتلة مثل (الميزون / Mesons) وجسيمات ثقيلة مثل (البروتون والنيوترون). خواص بعض الجسيمات الأساسية توجد بشكل موجز في الجدول الآتي :

جدول الجسيمات الأساسية

الجسيم	الرمز	الشحنة	الكتلة (a m u)	المكتشف
بروتون	P	+1	1.007276	جولدستين
ينوترون	n	0	1.00866	شادويك
إليكترون	B' or ${}^0_{-1}e$	-1	0.000549	ثومسون
بوزيترون	B ⁺ or ${}^0_{+1}e$	+1	0.000549	أندرسون
نيوترينو (Positrons)	$\nu, \bar{\nu}$	0	< 0.00002	Pauli

أ - الإليكترون:

في عام ١٨٩٧ أثبت ثومسون أن الإليكترونات هي من مكونات كل أنواع المادة. الشحنة الكهربائية للإليكترون هي (4.80386x10⁻¹⁰ e.s.u) (le. S.U) = وحدة الشحنة الكهروستاتيكية أي الشحنة التي عند وصفها في فراغ اسم بعيد عن شحنة مثيلة ومتساوية سوف تدفعها بقوة تساوى واحد دايين).

الإليكترون جسيم دقيق جدا له نصف قطر = 2.82x10⁻⁵m وله دوران مغزلي

(Spin) لـ $\frac{1}{2}$. وهو جسيم مستقر.

ب - البروتون Proton

كل النويات الذرية تحتوى على بروتونات . الشحنة الكهربائية للبروتون تساوى تلك

للإليكترون فى المقدار ولكن بعلامة عكسية. (It's Spin is $\frac{1}{2}$) . هو جسيم مستقر .

كان رزر فورد أول من أنتج البروتون خلال مفاعل نووى صناعى:



ج- النيوترون: Neutron

إكتشف شادويك النيوترون بقذف ${}^9_4\text{Be}$ بواسطة جسيمات ألفا.



النويات باستثناء نواة الهيدروجين تحتوى على النيوترونات.

النيوترون جسيم غير مستقر خارج النواة. فهو يتحلل خارج النواة إلى البروتون، إلكترون، وأنتى نيوترينو (أنتى نيوترينو)



البروتون والنيوترون، المكونان للنواة يسميا النكليونات (Nucleons).

د- البوزيترون Positron

البوزيترون هو الجسيم المخالف للإلكترون. أثبت أندرسون وجوده فى الأشعة الكونية عام ١٩٣٢. كتلته هى كتلك للإلكترون، ولكن شحنته هى واحد وموجبة. البوزيترون هى ناتج فى بعض التفاعلات النووية.



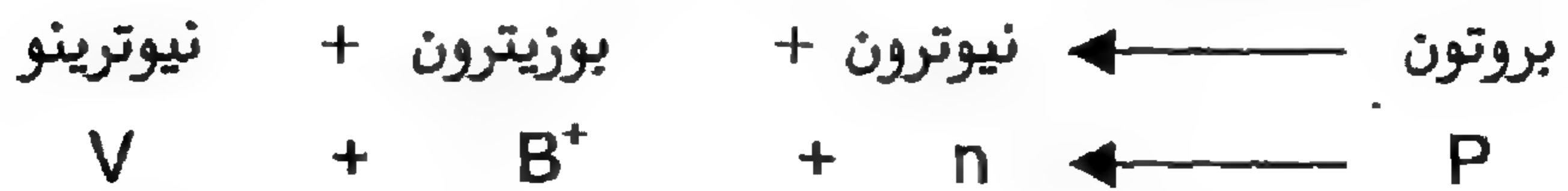
وهو جسيم مستقر ولكن عند التفاعل مع الإلكترون فإنه يدمر إلى طاقة، منتجا اثنين من وحدات الكم الضوئى (2 Photons).



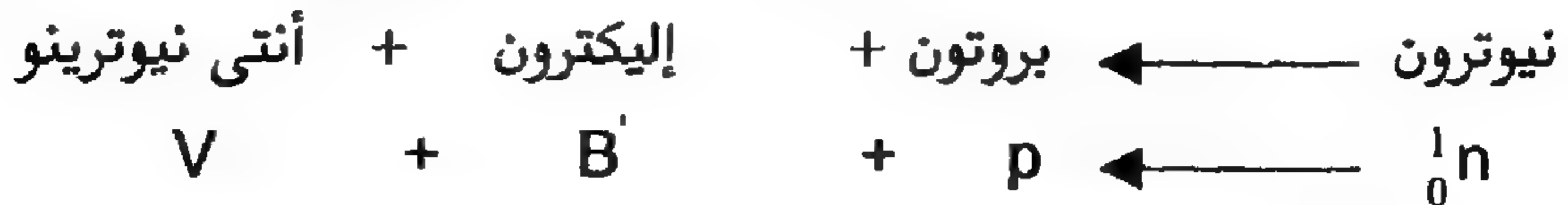
هذه العملية تسمى تفاعل الفناء (Annihilation Interaction)

هـ- النيوترينو والأنتى نيوترينو The Neutrino and Antineutrino

ابتعاث النيوترينو افترضه (Pouli) فى تحلل البوزيترون



بالمثل ابتعاث الأنتى نيوترينو فى تحلل بيتا تم افتراضه بواسطته كذلك.



ابتعاث تلك الجسيمات هو ضرورة للحفاظ على الطاقة، والعزم الزاوى (Angular

Momentum) فى تحلل بيتا.

النيوتريـنو والأنتى نيوتريـنو متشابهين فى كل الاعتبارات ولكن بدوران (Spin) مخالف: لهم كتلة صغيرة جدا تعادل ٠,٠٥ من كتلة الإلكترون. ليس لهم أى شحنة وهم جسيمات مستقرة. النيوتريـنو هو من مكونات الأشعة الكونية (Cosmic , Rays) بالإضافة إلى الجسيمات التى تم وصفها، فإنه تم اكتشاف العديد من الجسيمات الأخرى خلال الخمسين عاما الأخيرة. (جرافيتين) ، (Pimesons) ، (mu Mesons) (هم البعض من بينم تلك الأجسام.

٢- نواة الذرة: (Atomic Nucleus)

أ- نموذج الذرة لـرذرفورد:

طبقاً لتجارب رذرفورد على تفاعل جسيمات ألفا مع نواة الذرة إفترض الآتى بالنسبة للذرة:

- ١- تتكون الذرة من نواة مركزية ذات شحنة موجبة.
 - ٢- نواة الذرة صغيرة جدا مقارنة بحجم الذرة ككل.
 - ٣- الإلكترونات تكون موزعة حول النواة، حيث عددها يساوى شحنة النواة (الموجبة).
 - ٤- معظم كتلة الذرة تكون بمساهمة النواة.
 - ٥- يوجد فضاء خالى فى الذرة، هذا الخلاء يوجد بين النواة والإلكترونات. هذه الأوصاف للذرة كانت مبنية على تجربة الانتشار لجسيم ألفا. جسيمات ألفا من مصدر مشع تم تجهيزها لقذف رقيقة (Foil) من المعدن. عندئذ التغير فى مسارها تم تتبعه بشاشة من سلفيد الزنك حيث أنتجت هذه الجسيمات عليها نبضات.
 - أ - بعض من جسيمات ألفا كانت مجرد أن مرت خلال رقيقة المعدن. برهن هذا أن الذرة لها فضاء خالى.
 - ب - بعض من جسيمات ألفا، مر خلال رقيقة المعدن ولكن مع انحراف كبير. برهن هذا على وجود مجال كهربى داخل الذرة. جسيمات ألفا الموجبة حدث لها تنافر مع النواة الموجبة ولذلك انحرفت.
 - ج - جسيمات ألفا الأخرى انحرفت إلى الخلف . تلك الجسيمات يحتمل أنها صدمت النواة (على رأسها) وعادت إلى الخلف.
- هذه التجربة أدت إلى تفهم واضح لطبيعة النواة.

ب - الشحنة النووية: (Nuclear Charge)

نواة الذرة هي موجبة الشحنة. هذه الشحنة الموجبة تعود إلى البروتونات التي فيها. عدد البروتونات أو الشحنات الموجبة هو الرقم الذري (Atomic Number) للذرة. الشحنة على النواة يمكن أن توجد خارج طيفها لأشعة إكس. هذه الطريقة تم ابتكارها بواسطة (H. G. Mosley). حزمة من أشعة الكاثود (إلكترونات) جعلت لترتطم على غرض مصنوع من عنصر ذو شحنة نووية يلزم تقييمها. تم الحصول على إشعاع إكس المميز. تم تحليل هذا الإشعاع باستخدام بلورة من مادة فيروسيانيد كمحزوز للحيود (Diffraction Grating)، والأشعة الناتجة تم تسليطها على لوح فوتوغرافى. تمييز اللوح الفوتوغرافى أظهر وجود مجموعة من الخطوط الحادة (Sharp Lines) سميت طيف أشعة إكس شكل (٣/١). إطار الخط مرتبط مباشرة بأطوال الموجه لإشعاعات إكس. مع الوضع النسبى للخطوط فإن الترددات ($\nu = c / \lambda$) للإشعاعات المقابلة يمكن حسابها. تردد كل خط مرتبط بالرقم الذرى للعنصر بمعادلة رياضية.

$$\nu = a (z - b)^2$$

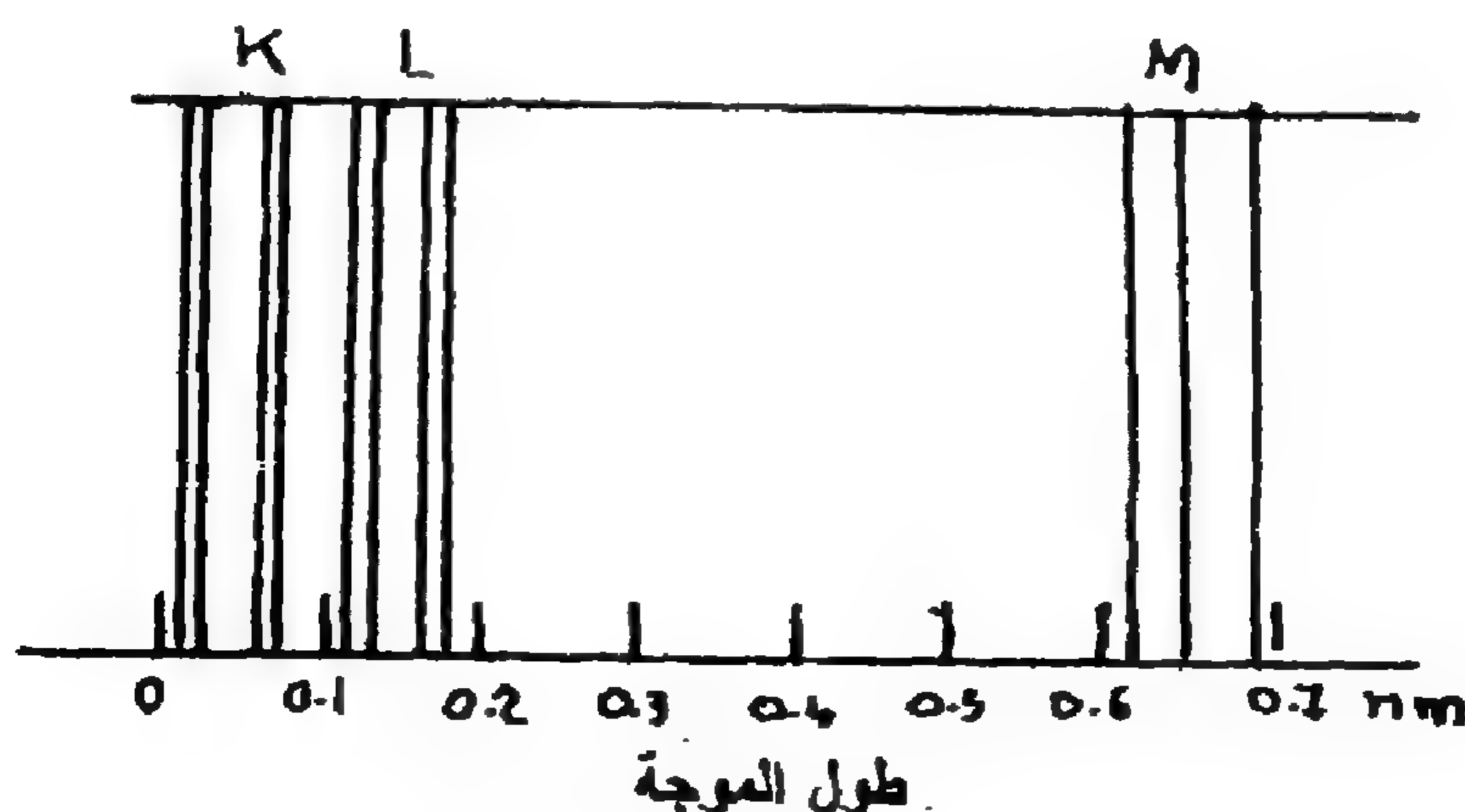
حيث:

a: ثابت النسبية.

b: ثابت لكل الخطوط لسلسلة معطاه.

z: للذرة يمكن حسابها من التردد الذى يتم قياسه.

الثوابت. (a)، (b) يمكن تقديرهم بعمل تجربة أولا مع عنصر ذو قيمة (Z) معلومة.



شكل (٣/١) طيف أشعة إكس للنتجستن

ج - نصف قطر النواة (Nuclear Radius)

نواة الذرة كروية. تأثير الجذب السطحي يجعل النواة كروية. نصف قطر النويات صغير جدا. هذه القيم هي في المجال من 10^{-13} إلى 10^{-10} سم، التقدير التقريبي لنصف قطر النواة يمكن عمله بالطريقة الآتية:

يتم توجيه جسيمات ألفا نحو الذرات التي يلزم تعيين نصف قطرها النووي. عند تحرك جسيم ألفا نحو النواة، فإن تنافر كولومب (Coulombic Repulsion) بينها وبين النواة سيزداد مع خفض المسافة (d) بينهم. عند نقطة واحدة، تكون الطاقة الحركية مجرد مساوية لطاقتها الوضعية للتنافر بين الاثنين. عند هذه النقطة فإن جسيم ألفا سوف يتوقف حركيا ثم يعود إلى الخلف لنفترض أن هذه المسافة للاقتراب القريب جدا لتكون (do).

$$(1) \quad \frac{1}{2} mv^2 = \text{الطاقة الحركية لجسيم ألفا}$$

حيث $m =$ الكتلة، v هي سرعة جسيم ألفا
قوة التنافر الكهروستاتيكي بين النواة الهدف وجسيم ألفا عند أي مسافة طبقا لقانون كولومب.

$$(2) \quad \frac{2ze^2}{d^2} = \frac{2e \times ze}{d^2}$$

حيث:

Z : هي شحنة النواة التي يتم تعيين نصف قطرها
 e : هي الشحنة الإليكترونية.

طاقة الوضع للتنافر يتم الحصول عليها بتكامل (Integrating)

المعادلة (2) للقوة على كل المسافات من ما لانهاية حتى (d)

$$\frac{2ze^2}{d} \quad \text{هذه القيمة}$$

كلا تلك الطاقتين الحركية والوضعية يتساويا عند do

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{2ze^2}{do}$$

$$do = \frac{4ze^2}{mv^2} \quad \text{عندئذ}$$

قيمة d_0 يفترض أنسبها تقريبا نصف قطر النواة (r) ، (r) تكون أقل من d_0 .
مثال:

البيانات الآتية معطاه، بالنسبة لتقدير نصف القطر النووي لذرة البوتاسيوم كعنصر الهدف، احسب نصف القطر النووي لذرة البوتاسيوم.

حيث:

- الشحنة الكهروستاتيكية $e = 4.8 \times 10^{-10} \text{ e.s.u}$

- الوزن الذرى لـ He = 4.00

- ثابت أفوجادرو $= 6.02 \times 10^{23}$

[ملحوظة: ثابت أفوجادرو هو عدد الجزيئات فى جزئ جرامى $= 6.02 \times 10^{23}$]

- شحنة جسيم ألفا $= 1.5 \times 10^9 \text{ cm s}^{-1}$

الحل:
$$d_0 = \frac{4ze^2}{mv^2}$$

$$= \frac{4 \times 19 \times (4.8 \times 10^{-10})^2}{\left(\frac{4}{6.02 \times 10^{23}}\right) (1.5 \times 10^9)^2}$$

$$= \frac{1751.04 \times 10^{-20}}{1.495 \times 10^{-5}}$$

$$= 1.17 \times 10^{-12} \text{ Cm}$$

نصف قطر نواة البوتاسيوم يكون أقل من $1.17 \times 10^{-12} \text{ cm}$
أنصاف أقطار النويات الذرية يتراوح من $1 \times 10^{-13} \text{ cm}$ إلى $8 \times 10^{-13} \text{ cm}$. القيمة

$1 \times 10^{-13} \text{ cm}$ تسمى 1 fermi ($\ll F$) واحد فيرمى هو على شرف Fermi عالم الطبيعة النووية. يعبر عن أنصاف الأقطار النووية بوحدة Fermi. فمثلاً، نصف القطر

النووى لليورانيوم هو $(7.7 F)$. الحجم النووى $\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)$ يتناسب مع عدد مكونات

النواة (Nucleons) (A) فى النواة

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \propto A$$

حيث r هى نصف القطر النووى.

$$r \propto A^{1/3}$$

$$r = r_0 A^{1/3}$$

حيث r_0 هو ثابت التناسب (Proportionality Constant) نصف قطر الذرة (R) هو حوالى (10^{-8} cm) بينما نصف قطر النواة (r) هو حوالى (10^{-12} cm) . الإليكترونات الموجودة فى الذرة دقيقة جدا، كل له نصف قطر $(2.8 \times 10^{-13} \text{ cm})$. بمقارنة أنصاف الأقطار تلك يتضح أنه يجب أن يكون لها كمية كبيرة من الفضاء الخالى (Empty Space). لتفهم ذلك فإن ذرة الكالسيوم يمكن اعتبارها. حجمها الذرى هو 10^{-24} C.C أى $\frac{4}{3} \pi R^3$ حيث R هى نصف القطر الذرى).

فى هذا الحجم توجد النواة والإليكترونات. النواة والإليكترونات معا تشغل فى الواقع 10^{-36} C.C . لذلك الحجم الحقيقى الذى تشغله المواد (النواة والإليكترونات) فى هذه الذرة هو فقط $(1 : 10^{12})$ فى الحجم الذرى. هذا الفضاء الحالى يسمح للجسيمات مثل ألفا، والنيوترون بالمرور خلال الذرة بسهولة.

[لذلك فإنه فى حالة إمكان جمع النويات التى تكفى لتشغيل حجم واحد سنتيمتر مكعب، فإن الوزن الكلى سيكون حوالى ٢٥٠ مليون طن].
مثال:

قدر كثافة نواة ذرة الذهب. نصف القطر الذرى للذهب هو $7.7 \times 10^{-13} \text{ cm}$.
الحل:

معظم كتلة الذرة تكون بسبب النواة، الإليكترونات بخلاف النواة مساهمة الإليكترونات هى جزء مهمل فى الذرة. لذلك، فإن كتلة نواة الذهب هى حوالى تلك لذرة الذهب نفسها.

الوزن الكتلى للذهب = 197 a m u

$$1 \text{ a m u} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$$

لذلك، كتلة ذرة الذهب.

$$M = (197 \text{ a m u}) (1.66 \times 10^{-24} \text{ g amu}^{-1}) \\ = 3.27 \times 10^{-22} \text{ g}$$

حجم النواة

$$\begin{aligned} V &= \frac{4}{3} \pi R^3 \\ &= \frac{4}{3} \pi (7.7 \times 10^{-13} \text{ cm})^3 \\ &= 1.9 \times 10^{-36} \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

الكثافة = M / V

$$\begin{aligned} &= \frac{3.27 \times 10^{-22} \text{ g}}{1.9 \times 10^{-36} \text{ cm}^3} \\ &= 1.7 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3} \end{aligned}$$

هذه قيمة ضخمة جدا تبين الكثافة العالية الغير عادية لنواة الذرة.

كثافة معدن الذهب 19.3 g / cm^3 . لذلك

كثافة نواة الذهب

كثافة معدن الذهب

$$\begin{aligned} \frac{1.7 \times 10^{14}}{19.3} &= \\ 8.8 \times 10^{12} &= \end{aligned}$$

لذلك، نواة ذرة الذهب هي حوالي 10^{13} ضعف كثافة معدن الذهب. رغم أن معدن الذهب يحتوى على نواة ذات كثافة غير عادية، إلا أن الفضاء الخالي في ذرة الذهب يخفض من كثافة الذرة.

٣ - الدوران النووى والعزم المغناطيسى:

Nuclear spin and Magnetic Moment

كل بروتون في النواة يدور حول محوره (عزم مدارى زاوى، S)،
(Spin Angular Momentum). وكذلك مداراته حول مركز كتلته النووية (العزم
الزاوى المدارى - L) (Orbital Angular Momentum)، النيوترونات أيضا تسلك مثل
ذلك. هذه الدورانات الطبيعية للبروتونات والنيوترونات تتحد لإعطاء محصلة الدوران
للنواة (I)

$$I = S + L$$

العزم الزاوية المدارية والدورانية (Orbital And Spin Angular - Momenta) لمكونات النواة (Nucleons) في النواة تتحد لإعطاء محصلة رقم عزم كمى زاوى، يسمى الدوران النووى (I).

قيمة الدوران النووى تتراوح من $\frac{1}{2}$ إلى $\frac{9}{2}$ للنويات العادية.

النويات ذات الأرقام التى تقبل القسمة على اثنين بدون باقى (Even Numbers) للبروتونات والنيوترونات لهم دورانات صفر (مثل He -4 , C - 12 , O - 16). الزوجية للدورانات ذات الاتجاه المعاكس لكل من البروتونات والنيوترونات فى تلك النويات ينتج عنه محصلة دوران صفر. النويات الغير زوجية (Odd) أى التى لا تقبل القسمة على اثنين لها دورانات بدون كسور (Integral). مثل $^{10}_3\text{B}$, $I=3$. بالنسبة للنويات الفردية الزوجية (Odd - Even) ، الزوجية - الفردية. (Even - Odd)، قيم I تكون (Odd

Half - Integral) مثل $\frac{1}{2}$ ، $\frac{3}{2}$ ، $\frac{5}{2}$.. الخ. لذلك

I بالنسبة لـ ^4_2He هي $\frac{1}{2}$ لكل.

النويات ذات الدورانات بخلاف الصفر تعمل مثل المغناطيسى ذو القطبين (Magnetic Dipoles)، قطبى النواة ذات الدوران (I) سميك لتصبح منظمة (Aligned) بالطريقة حيث تنتج (I + 2I) حالات طاقة لمجال القوة المعطى. الاشعاعات ذات تردد الرنين المناسب، المقابل لفرق الطاقة بين حالتين متجاورتين سوف عندئذ يؤدي إلى تغير فى توجيه الأقطاب، عندئذ الأشعة سيتم امتصاصها. العزم النووى المغناطيسى (M) وتردد الرنين (V) بينهم علاقة طبقا للمعادلة

$$M = \frac{Ih\nu}{H}$$

حيث

h = هو ثابت بلانك (Planck's Constant) وهو علاقة تردد الإشعاع

الكهرومغناطيسى بطاقته

الكمية (= 6.6249×10^{-27} جول ثانية)

H = قوة المجال المغناطيسى المستخدم.

العزم المغناطيسى (M) للبروتون فى وحدة العزم المغناطيسى (Magnetron) النووى يعبر عنها بالآتى:

$$M_p = \frac{eh}{4 \pi m_p c}$$

حيث:

e = طاقة البروتون.

h = ثابت بلانك.

m_p = كتلة البروتون

c = سرعة الضوء.

نظر لأن m_p ضعف كتلة الإلكترون 1836 مرة، فإن العزم المغناطيسى النووى يكون $1 \div 1836$ للعزم المغناطيسى للإلكترون (Electron) Magnetron of Bohr.

٤- طاقة الرباط النووى: (Nuclear Binding Energy)

طاقة الرباط للنواة هى الطاقة الذى سوف تنطلق إذا كانت النويات بنيت من مكوناتها المنفردة (Individual Nucleons) فمثلا، نواة Li-7 ممكن تصورها أنها تكونت بالجمع معا لعدد ٣ بروتونات، عدد ٤ نيوترونات.



الطاقة المنطلقة ترجع إلى تحويل الكتلة إلى طاقة. جزء من الكتلة لمواد التفاعل يتم فقده كطاقة. لذلك فإن كتلة النواة المتكونة ${}^7_3\text{Li}$ أقل عن مجموع كتل الثلاث بروتونات، الأربع نيوترونات. كتلة الذرة ذات نظير مستقر تكون دائما أقل من مجموع كتل البروتونات، النيوترونات والإلكترونات التى تكون الذرة. هذا الفرق فى اختلاف الكتلة يسمى الخلل الكتلى (Mass Defect) ويرمز له بالرمز ΔM . هذا الخلل الكتلى يمكن أن يكون سالبا للنواة عندما تكون كتلة النواة أكبر من مجموع كتل مكونات النواة (Nucleons) فى تكوينها، يحدث امتصاص للطاقة.

طاقة الرباط للنواة = الخلل الكتلى $(931.5 \times \Delta M \text{ u})$ Mev

هذه الطاقة بالنسبة لمعادلة أنشتين تكون

$$E_B = (\Delta M) C^2$$

حيث :

$C =$ هي سرعة الضوء

$M =$ بالكيلوجرام

$C =$ متر في الثانية

عندئذ E_B يتم الوصول إلى وحدات جول (Joules). طاقة الرباط للنواة هو مقياس للاستقرار النووي. فهو يزداد مع زيادة عدد (Nucleons) في النواة. فمثلا ، بالنسبة ${}^4_2\text{He}$ ، النواة ذات أربع نيوكلونات تكون 28.3 Mev ، ولكن بالنسبة لـ ${}^{12}_6\text{C}$ ذات اثني عشر نيوكلون ، يزداد إلى 92.16 Mev . طاقة الرباط لكل نيوكلون تسمى متوسط طاقة الرباط (The Average Binding Energy). ويعبر عنها بالآتي :

$$\frac{E_B}{A} = \frac{\text{Binding Energy}}{\text{Mas Number}} = \frac{\text{طاقة الرباط}}{\text{العدد الكتلي}}$$

حيث :

$E_B =$ هي طاقة الرباط.

$A =$ العدد الكتلي.

كلما زادت قيمة طاقة الرباط، كلما زاد استقرار النواة.

طاقة الرباط للكربون : Binding Energy Of Carbon

تتكون ذرة الكربون من ستة بروتونات ، ستة نيوترونات ، ستة إلكترونات.



مجموع الكتل للجسيمات التي على يسار المعادلة السابقة..

$$= 6m_p + 6m_n + 6m_e$$

$$= 6 (1.007276) + 6 (1.008665) + 6 (0.000549)$$

$$= 6.043656 + 6.051989 + 0.003294$$

$$= 12.098939$$

الكتلة الحقيقية لذرة ${}^{12}_6\text{C}$ هي 12.000000 amu. هذه الكتلة أقل من الكتلة

التي تم حسابها. هذا يرجع إلى أن الفقد في الكتلة يحدث عند تكوين ذرة ${}^{12}_6\text{C}$

$$\text{الفقد في الكتلة} = 12.000000 - 12.098939$$

$$0.098939 \text{ a m u} =$$

$$931.5 \text{ Mev} \times 0.098939 = \text{مكافئ الطاقة}$$

$$92.16 \text{ Mev} = \text{لكل ذرة.}$$

∴ طاقة الرباط للكربون بالجول.

$$(1.602177 \times 10^{-19}) (92.16 \times 10^6) =$$

$$\text{Joules} - 1.47857 \times 10^{-11} =$$

طاقة الرباط لجزئ من الكربون $^{12}_6\text{C}$

$$\text{Joules} (1.4765 \times 10^{-11}) (6.0221 \times 10^{23}) =$$

$$8.822 \times 10^{12} \text{ J} =$$

$$8.892 \times 10^{19} \text{ KJ} =$$

هذه كمية ضخمة من الطاقة. التغيرات في الطاقة في التفاعلات الكيميائية هي عادة

في حدود 10^3 KJ لكل جزئ.

لذلك فإن طاقة الرباط لـ $^{12}_6\text{C}$ هي حوالي مليون ضعف طاقة التفاعلات

الكيميائية.

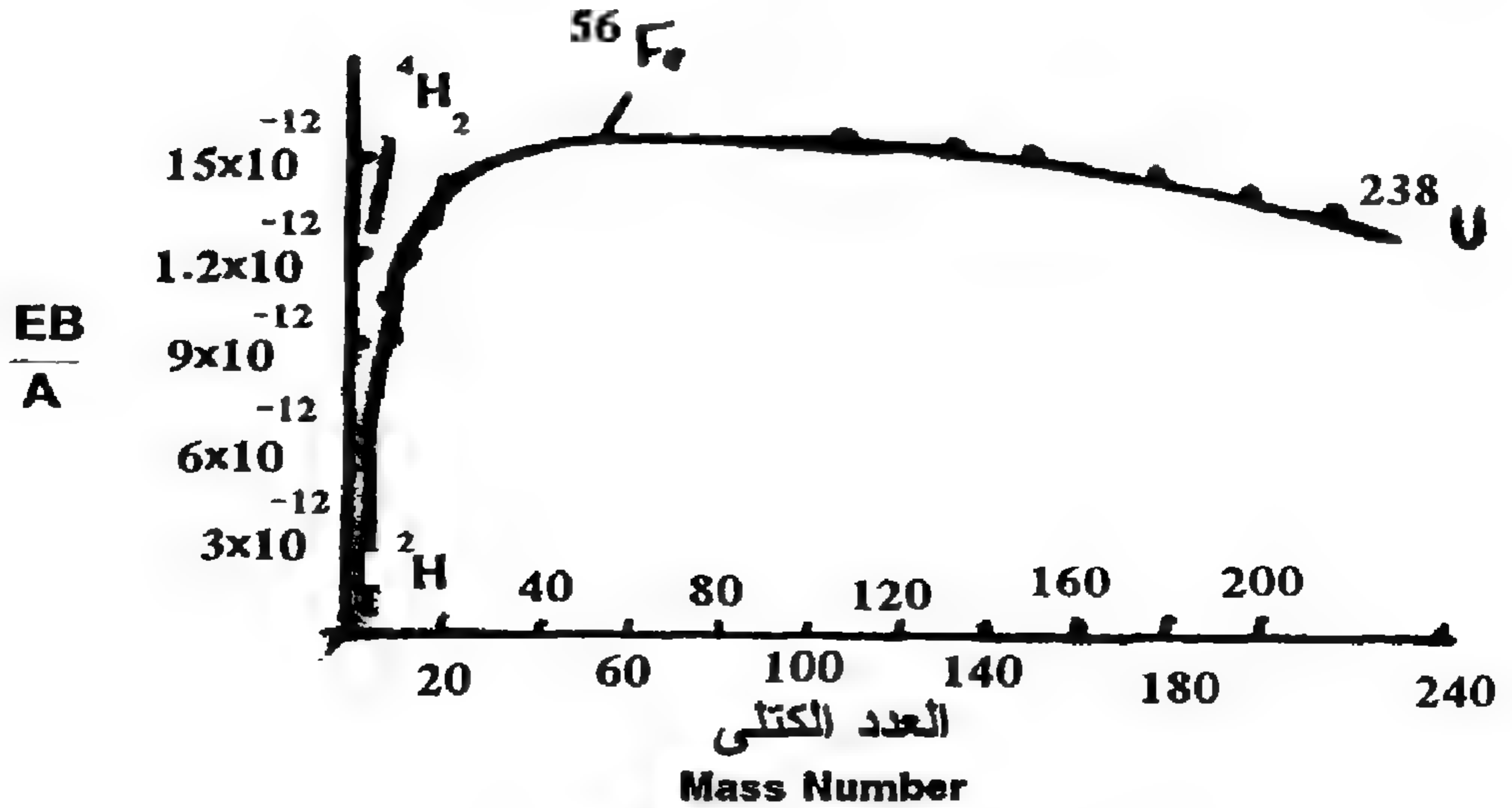
طاقة الرباط لبعض النويات موضح في الجدول التالي:

(جدول) طاقات الرباط النووي:

النواة	طاقة الرباط Mev	متوسط طاقة الرباط Mev
${}^2_1\text{H}$	2.23	1.11
${}^4_2\text{He}$	28.30	7.08
${}^7_3\text{Li}$	39.24	5.61
${}^{12}_6\text{C}$	92.16	7.68
${}^{16}_8\text{O}$	127.58	7.98
${}^{20}_{10}\text{Ne}$	160.62	8.03
${}^{56}_{26}\text{Fe}$	491.63	8.78
${}^{238}_{92}\text{U}$	1803.1	7.58

٥- منحنى طاقة الرباط: (Binding Energy Curve)

توقع طاقة الرباط للنوكليونات (Nucleon) كدالة للعدد الكتلي (Mass Number) للنويات (Nuclie) يسمى منحنى طاقة الرباط شكل (٣/٢)



شكل (٣/٢) منحنى طاقة الرباط النووي

التدقيق وإمعان النظر فى هذا المنحنى يكشف العديد من الظواهر لهذه العلاقة.

أ - أولاً ، مع البدء بالهيدروجين ، تزداد طاقة الرباط بحدّة بشدّة طبقاً للعدد الكتلى.

ب - تصل الطاقة إلى أقصاها حيث $A = 60$ (قريباً من عنصر الحديد). هذا يبين أنه عند اندماج نويتين خفيفتين لتكوين نواة أكبر ، فإنه يجب أن تنطلق طاقة (حيث طاقة الرباط للنواة الأثقل ، تكون أكبر من مجموع طاقات الرباط للنويات الأخف). هذا يؤسس الطبيعة الباعثة للطاقة (Exoenergic) فى الاندماج النووى (Nuclear Fusion)

ج - متوسط طاقة الرباط يلاحظ أنها ثابتة تقريباً لكل النويات ، باستثناء قليل من النويات الخفيفة ، فهى حوالى 8.5 Mev (1.4×10^{-2} Joules)

د - النقط المقابلة لـ ^4He ، ^{12}C ، ^{16}O ، ^{20}Ne ، ^{24}Mg تشكل أقصى أو الذروة فى المنحنى. كل من تلك النويات له طاقة رباط أكبر من جاراتها. هذا الاستقرار الزائد يعود إلى أن كل من (Z) ، (A) يكون Even أى عدد البروتونات ومجموع عدد البروتونات والنيوترونات يقبل القسمة على 2 بدون باقى.

هـ - متوسط طاقة الرباط يصل إلى قيمة التشبع فى حالة منطقة (A) العالية أى أنها لا تزداد باضطراد مع (A) فى هذه المنطقة. هذا يرجع إلى حقيقة أن القوى النووية هى قصيرة المدى (Short - Ranged) ولذلك تصبح مشبعة (Saturated) طبقاً للحجم النووى (Nuclear Size).

و - يبدأ متوسط طاقة الرباط فى الهبوط عند حوالى $A = 100$ هذا يبين أن النويات الكبيرة ليست مستقرة. العدد الكبير من النيوترونات فى تلك النويات ينتج تنافر كولومبى قوى. مثل هذا التنافر يعادل جزئياً القوى النووية. لذلك ، فإنه يمكن تفهم اعتبارات عديدة حول الخواص النووية من مخطط طاقة الرباط.

مثال : (١) :

احسب الطاقة المكافئة لواحد a m u حيث

$$1 \text{ a m u } (^{12}\text{C scale}) = 1.66032 \times 10^{-23} \text{g}$$

الحل :

وحدة العدد الكتلى هى $1 \div 12$ من كتلة ذرة $^{12}_6\text{C}$

كتلة ذرة واحدة من $^{12}_6\text{C}$ هى $12 \div NA$ جرام حيث NA هو ثابت أفوجادرو.

(ثابت أفوجادرو هو عدد الجزيئات في الجزئ الجرامى = 6.026×10^{23})
الكتلة في جرام لـ a m u هي:

$$= \frac{12}{N_A} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{(6.022137 \times 10^{23})}$$

$$= 1.660540 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$= 1.660540 \times 10^{-27} \text{Kg}$$

طبقا لمعادلة أينشتين $E = mc^2$

فإن الطاقة المكافئة لواحد a m u

$$= (1.660540 \times 10^{-27} \text{Kg}) (2.997925 \times 10^8 \text{m.s}^{-1})^2$$

$$= 1.492419 \times 10^{-10} \text{J}$$

$$\text{lev} = 1.602177 \times 10^{-19} \text{J}$$

$$\text{ev} \quad \frac{1.492419 \times 10^{-10}}{1.602177 \times 10^{-19}} = \quad \therefore \text{واحد a m u}$$

$$9.3149 \times 10^8 \text{ ev} =$$

$$9.31494 \times 10^2 \text{ Mev} =$$

$$931.5 \text{ Mev} =$$

مثال: (٢)

احسب طاقة الرباط لكل ينوكلون (بروتون، نيتوترون) لـ ${}^4_2\text{He}$.
الحل:

طاقة الرباط لـ ${}^4_2\text{He}$ يرمز لها بالمعادلة



مجموع الكتل للمكونات على الجانب الأيسر للمعادلة

$$= 2 m_n + 2 m_p + 2 m_e$$

$$= 2 (1.00866494) + 2 (1.00782505)$$

$$= 4.03297998 \text{ a m u}$$

(الكتلة لعدد اثنين إلكترون يمكن تجاهها لصغرها)

$$\text{الكتلة الحقيقية لـ } {}^4_2\text{He} = 4.00260 \text{ a m u}$$

الفقد في الكتلة يحدث عند تكوين ${}^4_2\text{He}$ من جسيمات مكوناته. هذا الفقد في الكتلة.

$$0.03038 \text{ a m u} = 4.0060 - 4.032980 = 931.5 \text{ Mev} = 1 \text{ a m u}$$

$$\therefore 913.5 \text{ Mev} \times 0.03038 = \text{a m u} \quad 0.03038 = 28.30 \text{ Mev}$$

توجد أربع نيوكلونات في نواة ${}^4_2\text{He}$ ($2p + 2n$). لذلك فإن طاقة الرباط لكل

$$\text{نيوكلون} = \text{Mev} \frac{28.30}{4} = 7.075 \text{ Mev}$$

وهذه تسمى متوسط طاقة الرباط.

مثال: (٣)

احسب طاقة الرباط النووي لـ ${}^{184}_{74}\text{W}$. كتلته النظرية التجريبية هي 184.006

الحل:

ذرة ${}^{184}_{74}\text{W}$ تحتوى على 74 بروتون، 110 نيوترون، 74 إلكترون.

كتلة ${}^{184}_{74}\text{W}$ يتوقع أن تكون

$$74 \times \text{كتلة البروتون} + 110 \times \text{كتلة النيوترون} + 74 \times \text{كتلة الإلكترون}$$

$$= 74 \times \text{كتلة } {}^1_1\text{H} + 110 \times \text{كتلة النيوترون}$$

$$= \text{a m.u} (1.002665 \times 110 + 1.007825 \times 74) =$$

$$= \text{a m u} (110.95315 + 74.57905) =$$

$$185.5322 \text{ am} =$$

$$184.006 \text{ a m u} = \text{كتلة النظرية التجريبية لـ } {}^{184}\text{W}$$

$$\therefore \text{الخلل في الكتلة} = 185.5322 - 184.006 = 1.526$$

عندئذ طاقة الرباط النووي:

$$= 931.5 \text{ Mev} \times 1.526 =$$

$$1421 \text{ Mev} =$$

مثال: (٤)

احسب متوسط طاقات الرباط لـ ${}^{14}_7\text{N}$ ، ${}^{15}_7\text{N}$ واستنتج استقرارهم النسبي.

الحل:

$${}^{14}_7\text{N} : \text{مجموع الكتل لـ } 7p + 7n + 7e$$

$$= 7 (1.007276470) + 7 (1.008664904) + 7 (0.000548579)$$

$$= 14.115433 \text{ a m u}$$

$$14.000307 = {}^{14}_7\text{N} \text{ الكتلة الحقيقية لـ}$$

$$= \Delta M \text{ الخفض في الكتلة}$$

$$\Delta M = (14.11543 - 14.00307)$$

$$= 0.11236 \text{ a m u}$$

$$\text{متوسط طاقة الرباط} = \frac{0.11236}{14} \times 931.5 \text{ Mev}$$

$$= 7.84 \text{ Mev لكل نيوكليون}$$

$${}^{15}_7\text{N} : \text{مجموع الكتل لـ } 7p + 8n + 7e$$

$$= 15.12409 \text{ a m u}$$

$$15.00011 = {}^{15}_7\text{N} \text{ الكتلة الحقيقية لـ}$$

$$\therefore \Delta M = 15.00011 - 15.12409$$

$$= 0.12398 \text{ a m u}$$

∴ عندئذ: متوسط طاقة الرباط

$$\text{Mev} = \frac{931.5 \times 0.12398}{15}$$

$$= 7.699 \text{ Mev لكل نيوكليون}$$

متوسط طاقة الرباط لـ ${}^{15}_7\text{N}$ أكبر من تلك لـ ${}^{14}_7\text{N}$. لذلك نواة ${}^{15}_7\text{N}$ يتوقع ان

تكون أكثر ثباتاً عن ${}^{14}_7\text{N}$

الثبات العالي لـ ${}^{15}_7\text{N}$ أكثر من ${}^{14}_7\text{N}$ يمكن أن يعود إلى نواته ذات (Odd-

Even) مقارنة إلى نواة ${}^{14}_7\text{N}$ (Odd - Pdd).

النيتروجين فريد حيث النظير الأقل استقرار منه، ${}^{14}_7\text{N}$ ، له وجود طبيعي وفير عن

الأكثر استقراراً ${}^{15}_7\text{N}$. بالنسبة لمعظم العناصر، الوفرة الطبيعية هي الأكثر للنظائر الأكثر

استقراراً.

مثال: (هـ)

احسب بالكيلوجرام:

أ — الكتلة الحقيقية لذرة واحدة من ${}^{12}_6\text{C}$ (الكتلة النظرية = 12.0038)

ب — الكتلة الكلية للجسيمات الأساسية الموجودة في ذرة واحدة لـ ${}^{12}_6\text{C}$

ج — اشرح لماذا يوجد إخلاف بين قيم الكتلة في (أ)، (ب).

الحل :

$$\text{أ - كتلة جزئ واحد لـ } {}^{12}_6\text{C} = 1.200380 \text{ جرام}$$
$$= 12.00380 \times 10^{-2} \text{ كجرام}$$

$$\text{جزئ واحد من الكربون} = 6.023 \times 10^{23} \text{ ذرات من الكربون}$$
$$\text{كتلة ذرة واحدة من } {}^{12}_6\text{C}$$

$$\text{Kg} \quad \frac{12.00380 \times 10^{-2}}{6.023 \times 10^{23}} =$$

$$1.993 \times 10^{-26} \text{ Kg} =$$

$$\text{ب- ذرة } {}^{12}_6\text{C} \text{ تحتوى } 6e + 6n + 6p$$

$$\text{كتلة } P = 1.672 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\text{كتلة } n = 9.110 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$\text{لذلك كتلة ذرة واحدة من } {}^{12}_6\text{C}$$

$$= 6 (1.672 \times 10^{-27}) + 6 (1.675 \times 10^{-27}) + 6 (9.110 \times 10^{-31}) \text{ Kg}$$

$$= 2.009 \times 10^{-26} \text{ Kg}$$

ج - الكتلة النظرية الحقيقية (أ) أقل من تلك الكتلة المحسوبة (ب) لأنه في

تكوين ${}^{12}_6\text{C}$ جزء من الكتلة يتحول إلى طاقة. هذه طاقة الرباط.

٦- الاستقرار النووي (Nuclear Stability)

لماذا بعض نظائر العنصر مستقرة بينما البعض الآخر ليسي كذلك؟ - لماذا بعض

النويات المشعة تتحلل بابتعاث ألفا، البعض بابتعاث بيتا والبعض الآخر بطرق أخرى؟.

لماذا العناصر الخفيفة لها نظائر طبيعية مشعة قليلة، بينما النظائر الطبيعية للعناصر

الثقيلة تكون مشعة؟.

هل يمكن امتداد الجدول الدوري للعناصر بدون حد على Z؟ للإجابة عن تلك

الأسئلة، تم افتراض قليلا من النظريات حول الاستقرار النووي.

أ- نظرية نقطة السائل للنواة: Liquid Drop Theory of Nucleus

نقطة السائل، متضمنة جزيئات المادة، تتكون في شكل كروي، بحيث أن التجاذب

بين الجزيئات فيها يكون عند أقصاه ولكن فإن استقرارها يكون عاليا. بالمثل، نواة الذرة

يتصور أنها تكونت في شكل كروي وذلك بجمع النيوكلونات مع بعضها. النيوكلونات

(البروتونات + النيوترونات) يمكن أن تتحرك داخل النواة مثل الجزيئات في السائل. تماما مثل نقط السائل الكبيرة التي هي غير مستقرة، فإن النواة الكبيرة (حيث Z أكبر من 83) تكون غير مستقرة. نقطة السائل تميل إلى التفتت إلى نقطتين أو أكثر من النقط الصغيرة. بالمثل النواة الكبيرة الغير مستقرة، تميل إلى التفتت (حدوث الانشطار) لإنتاج اثنين أو أكثر من النويات الصغيرة الغير مستقرة.

ب - نظرية الغلاف للنواة: (Shell Theory of Nucleus)

في هذه النظرية، يعتقد أن البروتونات والنيوترونات أنها تشغل مستويات محددة من الطاقة النووية والتي تسمى الأغلفة النووية. تلك الأغلفة تشبه أغلفة الإلكترون. كل غلاف نووي له طاقة محددة وقدرة قصوى لاحتواء البروتونات أو الإلكترونات. بناء الغلاف النووي تم بالإشغال المتتالي لأغلفة البروتون وأغلفة النيوترون، مثل إشغال أغلفة الإلكترون الزائد عن النواة. تماما مثل أشكال نووية معينة المقابلة لأغلفة مغلقة تشكل استقرار زائد للنواة. هذا الموقف من الاستقرار الزائد للنواة الذرية يحدث لأعداد نيو كلونات معينة (بروتون أو نيوترون). تلك الأعداد معطاه في الجدول التالي والتي تسمى الأعداد السحرية (Magic Number). نظرا لأن تلك النظرية تتعامل مع مكونات النواة (النيوكلونات) كجسيمات مستقلة، ليس كما في حالة نموذج نقطة السائل، فإنها تسمى النموذج المستقل للجسيم (The Independent - Particle Model).

جدول الأرقام السحرية للاستقرار النووي:

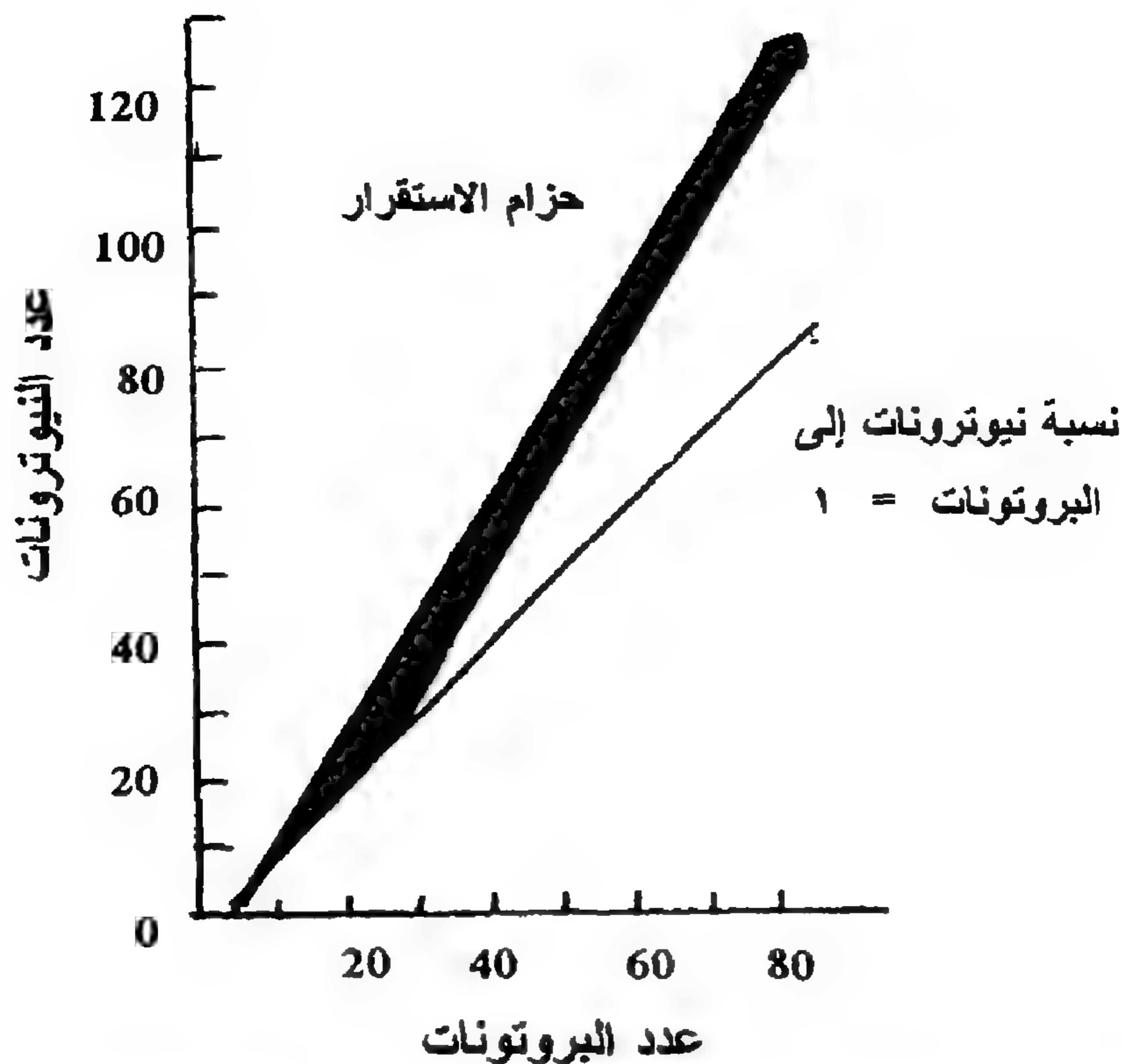
العدد السحري للبروتونات	العدد السحري للنيوترونات
2	2
8	8
20	20
28	28
50	50
28	82
126	114
184	-
196	-

النواة الذرية المحتوية على عدد البروتونات أو العدد السحري للنيوترونات تسمى نواة العدد السحري (Magic number Nucleus) كما في الجدول التالي. النواة ذات عدد سحري للبروتونات وعدد سحري للنيوترونات تسمى نواة مزدوجة العدد السحري (Double Magic Number Nucleus).

جدول - نويات العدد السحري

العدد السحري		النواة
نيوترون	بروتون	
2	2	H-4
8	8	O - 16
20	20	Ca - 40
28	-	V - 51
-	28	Ni - 58
50	-	Sr - 88
-	50	Sn - 118
82	-	Ca - 140
126	82	Pb - 208

الزيادة في نسبة n إلى p مع الزيادة في Z يكون ضروريا لخفض التنافر $P-P$ داخل النواة. النيوترون في النواة يفترض أنه يوفر قوة نووية لربط البروتونات والنيوترونات معا في وحدة نووية مستقرة. التنافر الكهروستاتيكي القوى بين البروتونات موجبة الشحنة في النواة يتم خفضه بوجود النيوترونات المتداخلة. في عدم وجود النيوترونات فغن البروتونات سوف تطير بعيدا ومنفصلة. لذلك، مع زيادة (Z) (الرقم الذري)، لحيد التنافر، فإن عدد الإليكترون يجب أن يزيد لإحداث الاستقرار للنواة.



شكل (٣/٣) توقع عدد البروتونات مقابل عدد النيوترونات

ج- قانون هاركن: (Harkin's Rule)

طبقاً لهذا القانون، فإن العناصر ذات العدد الزوجي (Even Number) للبروتونات في النواة (عدد زوجي ذري) تكون عادة أكثر استقراراً عن جيرانها ذات الأرقام الذرية الفردية (Odd). هذا يعني أن احتمال تحليلها ضعيف، وأنها أكثر وفرة. فمثلاً، Zr ذو رقم ذري زوجي ($Z = 40$) له عدد أكبر من النظائر المستقرة عن جيرانه $41N$ ، $39Y$ بالإضافة إلى أن Zr موجود بوفرة أكثر عن جيرانه. العناصر ذات الرقم الذري الزوجي تكون غنية بالنظائر ولها لا يقل عن ثلاث نظائر مستقرة. العناصر ذات أرقام ذرية فردية عادة لها فقط نظير واحد مستقر ولا يزيد عن اثنين.

يوجد ميل لأعداد البروتونات وأعداد النيوترونات في النواة لتكون زوجية. هذا يبين أن النيوكليونات تميل لتكون زوجية مثل الإلكترونات في المدارات الذرية والجزيئية. اثنين من البروتونات ذات زوج دوران معاكس لبعضهم البعض، بالمثل فإن النيوترونات تكون زوجية (Paired). الزوجية (Pairing) تطلق الطاقة التي تعمل على استقرار النواة.

د - الشاهد على نموذج الغلاف: Evidence For Shell Model

(١) العناصر ذات العدد السحري للبروتونات لها عدد كبير من النظائر الطبيعية مقارنة بجيرانها في الجدول الدوري. فمثلاً ، القصدير (Tin) ذو عدد سحري للبروتونات (50) له عشرة نظائر مستقرة.

(٢) المنتج النهائي المستقر للثلاث تسلسلات طبيعية المشعة هي الرصاص الذي له رقم سحري للبروتونات (82).

(٣) النواة (مثل $^{88}_{38}\text{Sr}$ المحتوى على 50 من النيوترونات) ذات عدد سحري للنيوترونات لا تقتنص نيوترون، النواة (مثل $^{87}_{38}\text{Sr}$ ، المحتوية على 49 نيوترون) مع نيوترون أقل عن العدد السحري للنيوترونات تقتنص سريعاً نيوترون للحصول على العدد السحري.

(٤) النويات ذات العدد السحري لكل من البروتونات والنيوترونات تكون متوفرة (عالية الاستقرار) في الطبيعة مثل $^{16}_8\text{O}$ ، $^{40}_{20}\text{Ca}$ ، $^{208}_{82}\text{Pb}$.

هـ - زوجية النيوكلون: (Nucleon Pairing) :

النويات ^4_2He ، $^{12}_6\text{C}$ ، $^{16}_8\text{O}$ ، $^{20}_{10}\text{Ne}$ و $^{24}_{12}\text{Mg}$ هي نويات مستقرة - طاقة الرباط لكل من تلك النويات أكثر من تلك لجارتها. الاستقرار الاستثنائي لتلك النويات يرجع إلى العدد الزوجي (Even) للبروتونات والعدد الزوجي للنيوترونات. النيوكلونات (Neutrons) ، مثل الإليكترونات الزائدة عن النواة يفترض أنها زوجية. كما في حالة الإليكترونات الزوجية الأكثر استقراراً عن الإليكترون الفردي في المدار الإليكتروني ، فإن النيوكلونات الزوجية تكون مستقرة. الزوجية الكاملة لكل البروتونات (Z) وكل النيوترونات (N) ممكن في حالة احتواء النواة على عدد زوجي من البروتونات وعلى عدد زوجي من النيوترونات. الزوجية الكاملة للنيوكلونات المتماثلة تسبب استقرار زائد للنواة. فمثلاً ، نواة $^{12}_6\text{C}$ أكثر استقراراً عن نواة $^{13}_6\text{C}$ ، في الأولى كل النيوكلونات (مكونات النواة) زوجية ، بينما في الأخيرة ، فإن نيوترون واحد يظل غير زوجي.

عند تطبيق مفهوم زوجية النيوكلون مقابل الاستقرار النووي لكل النظائر المعروفة ، فإن غالبية النظائر المستقرة وجد أن لها عدد زوجي للنيوكلون لكل نوع كما في الجدول:

جدول عدد النظائر المستقرة للنويات طبقا لزوجية النيوكلون

عدد النويات المستقرة	النوع
165	Z زوجى - N زوجى (Even Z - Even N)
56	Z زوجى - N فردى (Even Z - odd N)
53	Z فردى - N زوجى (odd Z - Even N)
9	Z فردى - N فردى (odd Z - odd N)

عموما تسلسل الاستقرار للنويات بالنسبة للزوجية هو

Z زوجى - N زوجى $Z < N$ زوجى - N فردى $Z = N$ فردى - N زوجى $Z > N$ فردى - N فردى.

من بين النويات فردى - فردى ^2_1H ، ^6_3Li ، $^{10}_5\text{B}$ ، $^{14}_6\text{N}$ هي نويات خفيفة مستقرة. النويات الأخرى فردى - فردى توجد فقط فى شكل آثار (Traces) فى الطبيعة وتكون مشعة مثال $^{50}_{23}\text{V}$ كما أن كل الذرات المعروفة ذات Z أكبر من 83 تكون مشعة.

و - الاستقرار النووى وابتعاث البوزيترون:

Nuclear Stability And Positron Emission

النواة الغير مستقرة ذات نسبة $n : p$ منخفضة جدا بالنسبة للاستقرار يمكن أن تبعث بوزيترون (B^+). البوزيترون هو جسيم له نفس الكتلة مثل الإلكترون ولكن بشحنة موجبة تساوى فى المقدار شحنة الإلكترون.

البروتون فى النواة يتحول إلى نيوترون وبوزيترون فى هذا الشكل للتحلل



فمثلاً $^{19}_{10}\text{Ne}$ هى نواة غير مستقرة وذات نسبة $n : p = 0.9$ ، وهى تبعث

بوزيترون ، حيث تزداد هذه النسبة إلى 1 : 1



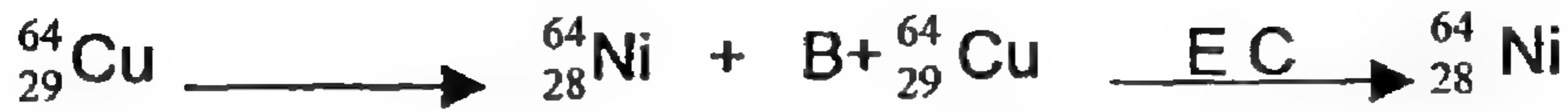
نواة Ne الأصلية لها عشرة إلكترونيات ، نواة الفلور المنتجة لذلك تتكون بعشرة

إلكترونات وبذا فإنها أولا تكون F^- .

ابتعاث البوزيترون يصاحبه إبتعاث النيوترينو (Neutrino) (أى ابتعاث B' يصاحبه ذلك للأنتى نيوترينو $\bar{\nu}$).

أى تحليل B يشمل الابتعاث الفورى للنيوترينو. الأنتى نيوترينو (Antineutrino) هو الجسم المضاد للنيوترينو (Neutrino) كما فى حالة البوزيترون الذى هى الجسم المضاد (Antiparticle) للإلكترون.

كلا من ابتعاث البوزيترون واقتناص الإلكترون يزيد نسبة $P : n$ (النيوترون إلى البروتون). كلا هذين الاثنين هما نماذج تحليل تنافسية. مع بعض النويات المشعة يحدث كليهما، أى بعض النويات تتحلل بابتعاث البوزيترون والبعض الآخر باقتناص الإلكترون (E C).



بالنسبة للنويات ذات نسبة $P : n$ منخفضة، فإن اقتناص الإلكترون يحدث تفضيلاً عندما تكون Z عندئذ يحدث ابتعاث للبوزيترون. النويات النشطة حيث Z أقل من 30 غالباً ما يتم التحلل فى معظمه بابتعاث البوزيترون. عندما تكون $Z < 70$ (أكبر من 70)، يحدث إقتناص إلكترون فقط. فى ابتعاث البوزيترون، تكون كتلة ذرة المنتج أقل من تلك لكتلة ذرة التفاعل بقدر كتلة البوزيترون والإلكترون. مكافئ الطاقة للخفض فى الكتلة.

$$2 = 931.5 \text{ Mev} \times (\text{كتلة الإلكترون})$$

$$2 = 931.5 \text{ Mev} \times (5.4858 \times 10^{-4})$$

$$1.022 \text{ Mev} =$$

لذلك فإن معيار الطاقة لابتعاث B^+ هو أن التحلل يجب أن يشمل خفض فى

الكتلة يقابل 1.022 Mev.

مثال :

أوجد الشكل الأكثر احتمالاً لتحلل ${}^{13}_7\text{N}$

الحل :

$$\text{نسبة } P : n \text{ لـ } {}^{13}_7\text{N} \text{ هى } 7 : 6 = 0.86$$

هذه منخفضة لاستقرار النواة. لذلك، لزيادة النسبة، إما أن يحدث اقتناص

لإلكترون أو ابتعاث B^+ هو المحتمل حدوثه.



$$13.00335 \text{ u} = ^{13}_6\text{C} \text{ كتلة}$$

$$13.00574 \text{ u} = ^{13}_7\text{C} \text{ كتلة}$$

يوجد خفض في الكتلة نتيجة ابتعاث B^+ . مكافئ الطاقة لخفض هذه الكتلة هو

$$13.00574 - 13.00335 = 2.23 \text{ Mev}$$

وهذا أكبر من متطلبات الطاقة (1.022 Mev) لابتعاث البوزيترون. لذلك يتوقع أن $^{13}_7\text{N}$ سوف يتحلل بابتعاث البوزيترون. وفي الواقع فهو باعث للبوزيترون ابتعاث البوزيترون هو الشكل الأكثر احتمالا للتحلل لزيادة نسبة $\text{P} : \text{n}$ بين النظائر النشطة ذات Z أقل 30.

٧- القوى النووية : (Nuclear Forces) :

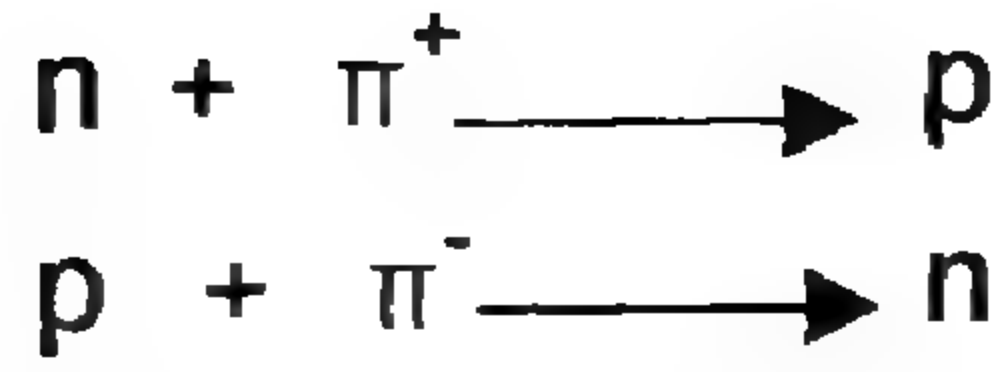
أ- نظرية يوكاوا : (Yukawa' Theory)

البروتونات لها شحنة موجبة. لذلك فإن وجود اثنين أو أكثر من بروتونات ذات شحنات متماثلة في النواة يتوقع أن يحدث تنافر بين بعضهم. بالرغم من مثل هذا التنافر الكهروستاتيكي، فإن نواة الذرة تكون مستقرة. هذا يدل ضمنا إلى أنه يجب أن يوجد بعض من قوى الجذب داخل النواة، أقوى بكثير من قوى التنافر قوى التجاذب هذه لا يمكن أن تكون كهروستاتيكية كالآتي :

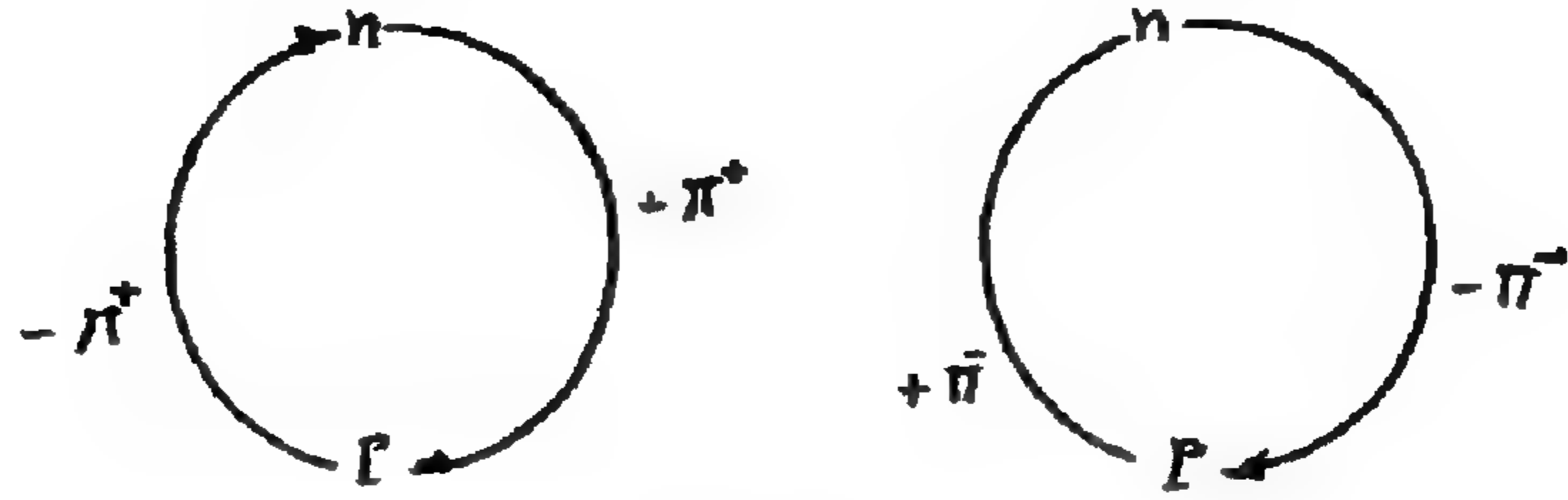
(أ) النواة لا تحتوى جسيمات ذات شحنة مضادة.

(ب) القوى النووية تكون مؤثرة فقط على مسافة قصيرة جدا وتهبط فوق من 2 - 3 فمتومتر (10^{-15} m) (القوى الكهروستاتيكية، على العكس تنخفض ببطء مع المسافة. لتفسير هذه الحقائق، اقترح يوكاوا نظرية تسمى مجال نظرية الميزون (Meson Field Theory)، [الميزون دقيقة ذات كتلة وسط بين البروتون والإلكترون]. طبقا لهذه النظرية، جسيمين نوويين يكون مرتبطين بتبادل الجسيم. هذا مثل ذرتين مرتبطين معا بمقاسمة الإلكترونات. هذا الجسيم يتصور أن يتم استبداله باستمرار بين النيوكلونات (البروتونات والنيوترونات). الجسيم المستبدل يسمى ($\pi - \text{Meson}$). الميزون يمكن أن يكون موجب، سالب أو متعادل.

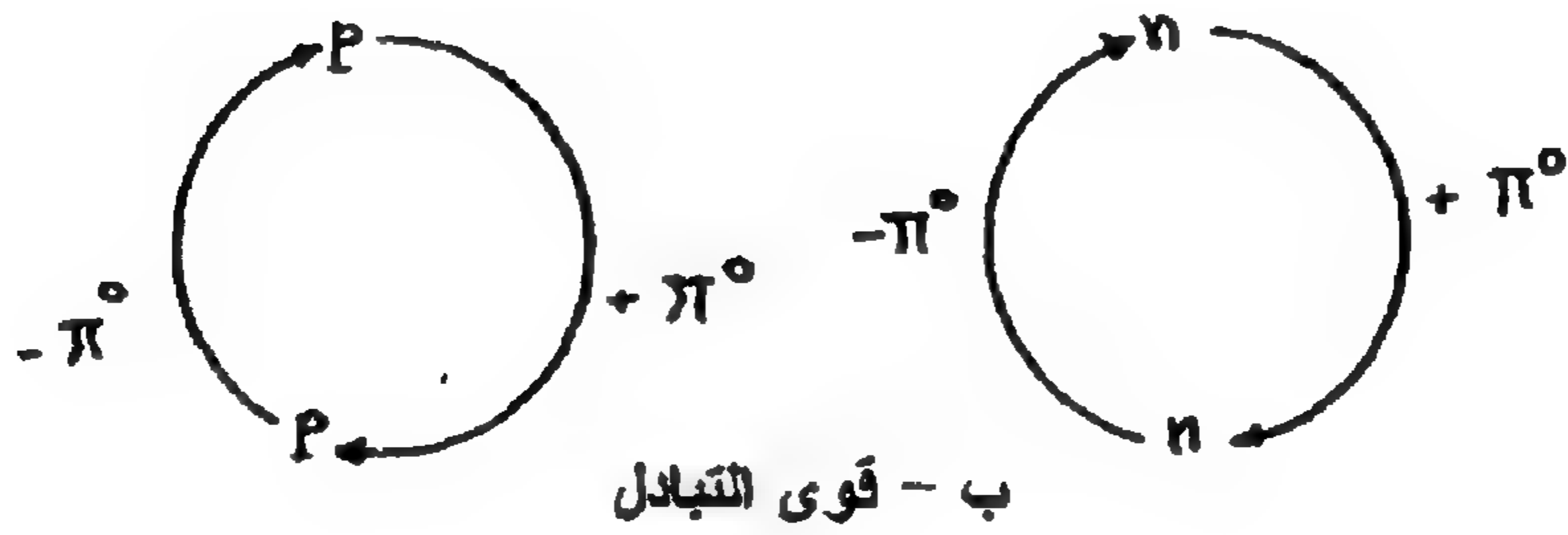
تبادل الجسيم الحامل للشحنة يحول البروتون إلى نيوترون والعكس.



مثل هذا التبادل شكل (٣ / ٤) يؤدي إلى قوى الجذب بين النيوكلونات. هذا التبادل يحدث بسرعة عالية بحيث أن الميزونات تحافظ على اثنين من النيوكلونات ملتصقين معا. تبادل π^+ و π^- هو السبب للرباط بين النيوكلونات.



أ - قوى التبادل



ب - قوى التبادل

شكل (٣ / ٤) قوى التبادل

الميزون π^0 يتم تبادله بين اثنين من البروتونات أو بين اثنين من النيوترونات. قوى الجذب الميزونية (Mesonic) لا تتوقف على شحنة النيوكلونات. قوى الجذب بين p, p وبين n, n وبين n, p تكون متشابهة في القوة.

عدد كبير من قوى الميزون داخل النواة تعمل كغراء لربط النيوكلونات. النيوكلونات يقال أنها مجال للجذب الذي وجد بواسطة الميزونات والذي يسمى مجال الميزون (Meson Field).

كتلة π^0 هي 246 ضعف كتلة الإلكترون. كتل π^+ ، π^- متساوية، 274 ضعف تلك للإلكترون.

الميزونات هي جسيمات عنصرية (Elementary particles).
وهي غير مستقرة خارج النواة.
مثال:

في التفاعل بين Zn والنيوترونات البطيئة.



أشعة γ تنتج بطاقة 9.0 Mev. ما هي كتلة نواة ${}^{64}\text{Zn}$ ؟
الحل:

$$\text{كتلة } {}^{63}\text{Zn} = 62.9522 \text{ u}$$

$$\text{كتلة } n = 1.00866 \text{ u}$$

إجمالي كتلة مواد التفاعل

$$= (1.00866 + 62.9522) \text{ u}$$

$$= 63.9609 \text{ u}$$

طاقة إشعاع γ ينتج من الكتلة. هذه الكتلة

$$= \left(\frac{1 \text{ u}}{931.5 \text{ Mev}} \right) 9.0 \text{ Mev} = 0.00966 \text{ u}$$

الكتلة المتوقعة لـ ${}^{64}\text{Zn}$ هي:

$$= (63.9609 - 0.00966) \text{ u}$$

$$= 63.9512 \text{ u}$$

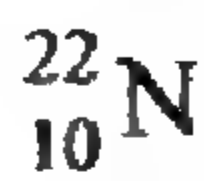
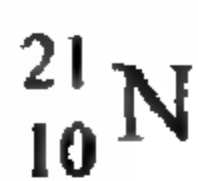
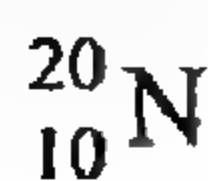
عند حل هذه المسألة يتم إهمال طاقة n لكونها منخفضة جدا ويفترض أن أشعات

جاما (γ) يعود إليها كل الفرق في طاقة الرباط بين الهدف والمنتج.

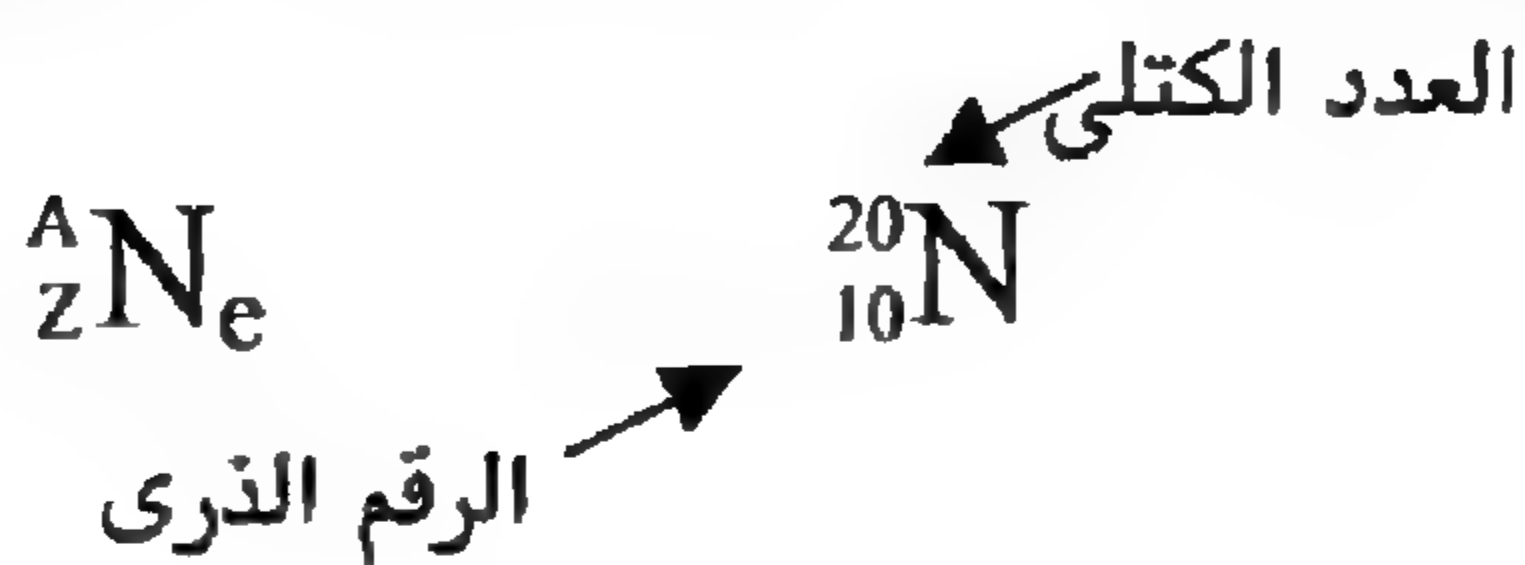
الفصل الرابع

النظائر (Isotope)

العينة الطبيعية للنيون تحتوى ثلاث أنواع من ذرة النيون . هذه الثلاث أنواع تحتوى نفس العدد من البروتونات وأعداد مختلفة من النيوترونات. وهذه يرمز لها بالآتى:



الرقم اليسار السفلى يمثل الرقم الذرى ، الرقم اليسار العلوى يمثل العدد الكتلى للذرة.



تلك الذرات الثلاث لـ Ne تسمى نظائر النيون.

نظائر العنصر تحتوى على نفس العدد من البروتونات (Z) ولكن أعداد مختلفة من النيوترونات فى نواياتها، ولذلك يكون لها عدد كتلى (Mass Number) مختلف. الثلاث نظائر لـ Ne فى الطبيعة توجد بالنسب الآتية:

$$\text{Ne} - 20 : \text{Ne} - 21 : \text{Ne} - 22 = 90.9\% : 0.26\% : 8.82\%$$

الثلاث نظائر المعروفة للهيدروجين موضحة فى الجدول التالى:

جدول () نظائر الهيدروجين:

الرمز	الاسم	عدد البروتونات	عدد النيوترونات	العدد الكتلى	الوفرة فى الطبيعة	الاستقرار
^1_1H	هيدروجين	1	0	1	99.985	مستقر
^2_1H	ديتريوم	1	1	2	0.015	مستقر
	هيدروجين ثقيل					
H	تريتيوم	1	2	3	0	غير مستقر

الوزن الذرى للنيون الطبيعى يتم حسابه من الكتل الحقيقية ونسبة الوفرة لنظائره

الثلاث.

النظير	الكتلة النسبية × نسبة الوفرة	=	إجمالي الكتلة
Ne - 20	19.99 x 0.9092	=	18.17
Ne - 21	20.99 x 0.0026	=	0.05
Ne - 22	21.99 x 0.0882	=	1.94
	الوزن الذري	=	<u>20.16</u>

تلك النسب تسمى نسبة الوفرة الطبيعية لنظائر النيون. هذه تمثل نسبة الذرات للنظائر في عينة اليورانيوم الطبيعي. لذلك، في 1000 من ذرات اليورانيوم، الطبيعي، 909 ذرة تكون ذات Ne - 20.

نسبة الوفرة الطبيعية تختلف باختلاف العناصر. فمثلاً، الهيدروجين الطبيعي هو خليط من ^1H ، ^2H مع نسبة وفرة 99.99% : 0.010% بعض العناصر توجد في الطبيعة في شكل نوع واحد من الذرات، وهي ليس لها نظائر. فمثلاً، الفلور في الطبيعة يكون ^{19}F بنسبة 100%.

اليورانيوم الموجود في الطبيعة هو خليط من ثلاث نظائر

U - 234	U - 235	U - 238
0.0058 %	0.715 %	99.28 %

[يوجد حوالي 2600 عنصر معروف، نظائر لحوالي 110 عنصر. من بينهم حوالي 300 يكون مستقراً والباقي مشع].

١- خواص النظائر:

- نظائر العنصر له نفس عدد البروتونات ولكن أعداد النيوترونات مختلفة.
- النظائر الطبيعية لعنصر توجد ثابتة لعدد الذرات النظائرية بصرف النظر عن مصادرها أو حالاتها الكيميائية.
- نظائر العنصر لها خواص طبيعية مختلفة قليلاً. فمثلاً، نقطة الغليان لـ $\text{H}_2(1)$ هي 20.4k، بينما تلك لـ $\text{D}_2(1)$ هي 23.7k.
- معدلات النشاط لنظائر العنصر تختلف، هذه الخاصية تسمى التأثير النظائري الحركي (Isotopic Kinetic Effect) فمثلاً، تفاعل الاستبدال بين CH_4 ، CL - 35 وذلك بين CH_4 ، CL - 37 تحت ظروف متشابهة تجريبية يتقدم بمعدلات مختلفة. عندما تكون نظائر مختلفة لعنصر ضمن مكونات مركبين متشابهين، عندئذ فإن المركبين

قد يكون لهم نشاط تفاعل مختلف. مثل هذا الاختلاف في النشاط الكيميائي يعود إلى الفرق في قوى الرباط المتكونة بمختلف النظائر. فمثلاً، المركبين $\text{CH}_3 - \text{OH}$ و $\text{CH}_3 - \text{OD}$ يمكن أن يظهرأ أنشطة مختلفة نحو مواد معينة. الاختلاف بين رباط $\text{O} - \text{D}$ ، $\text{O} - \text{H}$ هو المسئول عن هذا الاختلاف في النشاط.

هـ- نظائر العنصر يمكن أن تكون أو لا تكون مشعة فمثلاً، بالنسبة للنظيرين الثقيلين للهيدروجين، ^3_1H هو المشع ولكن ^2_1H ليس مشعاً.

جدول جدول النظائر لبعض العناصر

العنصر	Z	عدد النظائر المستقرة	العدد الكتلي (Mass Number)
H	1	2	1, 2
He	2	2	3, 4
C	6	2	12, 13
O	8	3	16, 17, 18
F	9	1	19
Ne	10	3	20, 21, 22
Cl	17	2	35, 37
Ca	20	6	40, 42, 43, 44, 46, 48
Sn	50	10	112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 124

مسألة: (١)

الكريبتون الطبيعي هو خليط من خمسة نظائر

الكتلة النظائرية النسبية 80 82 83 84 86

الوفرة % 2 12 12 57 17

باستخدام تلك البيانات احسب الكتلة الذرية النسبية للكريبتون الطبيعي.

الحل:

الكتلة النسبية الطبيعية للكريبتون الطبيعي

$$\frac{(86 \times 17) + (84 \times 57) + (83 \times 12) + (82 \times 12) + 80 \times 2}{100} =$$

$$83.9 =$$

مسألة : (٢)

عينة طبيعية من الرصاص، عند التحليل الطيفي (Mass Spectrum) وجد أنه يحتوى على أربع نظائر.

الكتلة (U)	الوفرة %	العنصر
203.97	1.4	$^{204}_{82}\text{Pb}$
205.97	24.1	$^{206}_{82}\text{Pb}$
206.98	22.1	$^{207}_{82}\text{Pb}$
207.98	52.4	$^{208}_{82}\text{Pb}$

احسب الوزن الذرى للرصاص :

الحل :

$$\begin{aligned} & (0.241 \times 205.97) + (0.014 \times 203.97) = \text{الوزن الذرى للرصاص} \\ & + (0.524 \times 207.98) + (0.221 \times 206.98) \\ & 207.2 \text{ u} = \end{aligned}$$

٢ - فصل النظائر : (Separation of Isotopes) :

بعد اكتشاف 235 - U ، بدأ ارتياد طرق فصل النظائر ذلك بسبب المطلوب من زيادة نسبة 235 - U عن 238 - U لاستخدام فى المفاعلات النووية وتصنيع القنبلة الذرية. العديد من الطرق متاح حاليا لفصل النظائر. مبادئ هذه الطرق مبنى أساس على العوامل التالية :

أ - عند درجة حرارة معينة، فإن جزيئات الغازات بصرف النظر عن الكتلة لها نفس متوسط الطاقة الحركية.

ب - قوى الجاذبية أو قوى الطرد المركزي التى تعمل على الجسم تتناسب مباشرة مع كتلته.

ج - القوى الكهربائية والمغناطيسية التى تعمل على الذرات المؤينة أو الجزيئات تتبع قانون كولومب.

د - النشاط الكيميائي لنظائر العناصر الأخف يختلف قليلاً.

٣ - معامل فصل النظائر (Isotope Saration)

إن درجة فصل نظيرين من خليط منهما فى مرحلة واحدة من عملية الفصل هو معامل الفصل. ويرمز له بالرمز (S) ويعبر عنه رياضياً كالتى:

$$S = \frac{N_1 / N_2}{n_1 / n_2}$$

حيث:

n_1 = عدد أصناف النظائر الخفيفة قبل عملية الفصل.

n_2 = عدد أصناف النظائر الثقيلة قبل عملية الفصل.

N_1 = عدد أصناف النظائر الخفيفة بعد عملية الفصل.

N_2 = عدد أصناف النظائر الثقيلة بعد عملية الفصل.

مقدار (S) يبين تأثير الفصل. عادة فى كل مرحلة من الفصل تكون (S) أكبر قليلاً عن واحد. لذلك، فإن الفصل الكبير يتطلب العديد من المراحل للفصل. إذا استخدمت مراحل () فى الفصل، عندئذ فإن (S') تمثل المعامل الكلى للفصل.

أ- طريقة الدفق الغازى (Gaseous - Effusion Method)

تستخدم هذه الطريقة طبقاً لقانون جراهام للانتشار (Diffusion):

الذى ينص على الآتى:

المعدلات التى عندها تنتشر الغازات المختلفة عند نفس درجة الحرارة تتناسب عكسياً

مع الجذور التربيعية لكثافتاتها. رياضياً بالنسبة لغازين فإن هذا القانون يرمز له بالآتى:

$$S = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

الرمز (S) هو معامل الفصل.

V_1 ، V_2 هما معدلات الانتشار.

m_1 ، m_2 هما الكتلت لكل من الغازين (حيث تستخدم الكتلة بدلا من الكثافات نظرا لأن كلاهما يتناسب مع الآخر). مقدار (S) يبين كيف أنه يمكن فصل الغازين جيدا في مرحلة واحدة من عملية الدفع.

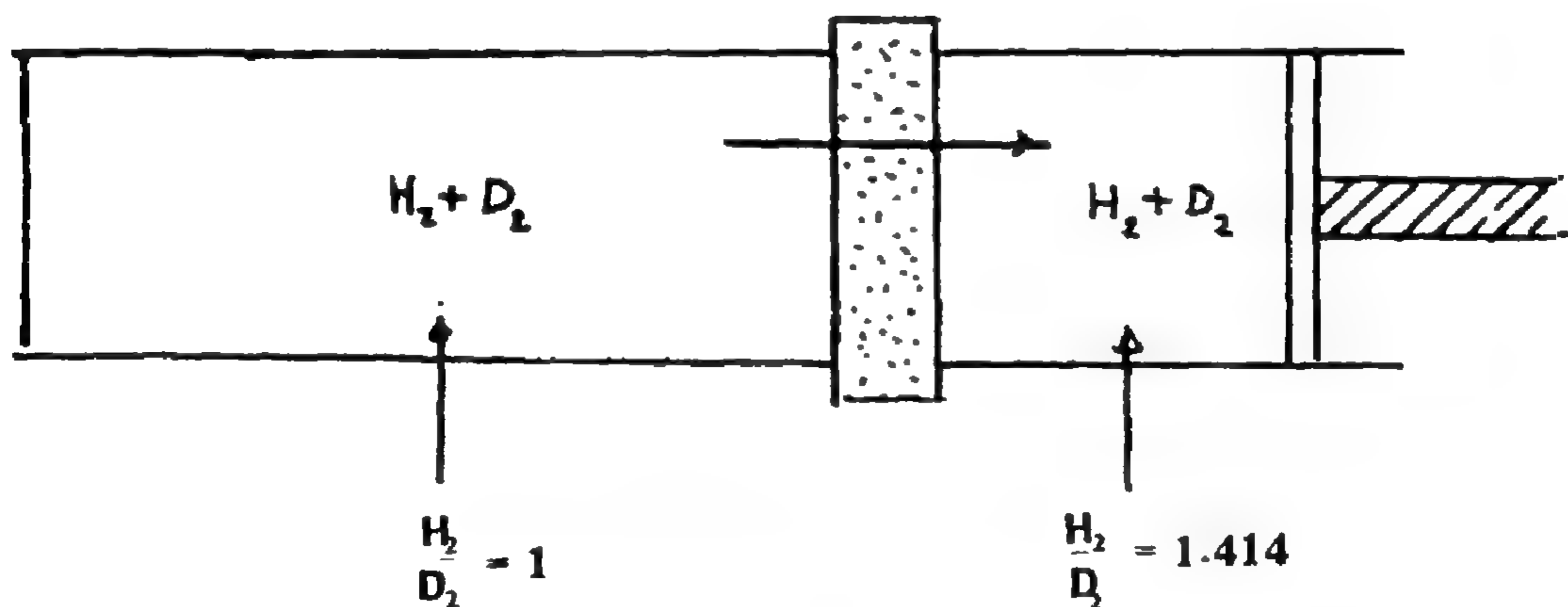
الانتشار (Diffusion) هو العملية التي بها يختلط غاز مع غاز آخر بالتدريج. الدفع (Effusion) هو العملية التي بها يهرب الغاز تحت الضغط من غرفة إلى أخرى خلال فتحة صغيرة. معدل الدفع تنطبق عليه كذلك قانون جراهام.

إذا كان الغاز مكونا من اثنين من النظائر مارا خلال حاجز سامى إلى وعاء مفرغ، فإن النظير الأخف ينتشر أكثر سرعة على الأثقل. لذلك، ولفترة زمنية قصيرة، بعد بدأ دفع الخليط، فإن الكمية النسبية للنظير الأخف في الوعاء المفرغ تكون أكبر عن تلك في الجانب الآخر للحاجز.

فمثلاً: دفع خليط H_2 ، D_2 بالمرور خلال حاجز سامى شكل (٤/١) . معامل الفصل

لهذا هو.

$$S = \sqrt{4/2} = 1.414$$



شكل (٤/١) فصل $H_2 - D_2$ بالتدفق الغازى

الغاز المتدفق في الوعاء له كمية أكبر من H_2 عندئذ يتدفق مره أخرى، خلال الحاجز المسامى الثانى، بما يؤدي إلى زيادة نسبية في كمية H_2 . بتكرار هذه العملية عدة مرات يمكن الحصول على عينة من H_2 خالية في الغالب من D_2 .

خليط $U - 235$ ، $U - 238$ يمكن فصله بهذه الطريقة. هذين النظيرين يمكن تحويلهما إلى مركباتهم الغازية UF_6 عند $56^\circ C$ قبل الفصل. الوزن الجزيئي لكلا الفلوريدات هو 352، 349.

لذلك فإن معامل الفصل لخطوة الدفع.

$$= \frac{\text{معدل الدفع لـ } ^{235}UF_6}{\text{معدل الدفع لـ } ^{238}UF_6}$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{352}{349} \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{6(19) + 238}{6(19) + 235} \right] = S \text{ أو}$$

$$= 1.0043$$

عند هذه القيمة التي هي أكبر من واحد قليلا، فإنه يلزم التخطيط الآلاف من خطوات الدفع للفصل الكثير. بعد المرحلة الثانية فإن معامل الفصل الكلي يصبح $1.004 \times 1.004 = 1.008$ ، تحسن قليل. بعد مراحل n يصبح $(1.004)^n$.

للاستخدام كوقود في مفاعل نووي، فإن محتوى الوقود من $U - 235$ يزداد عادة من الطبيعي 0.7% للاستخدام في القنبلة الذرية، $U - 235$ يجب أن يكون بنسبة نقاء تصل إلى 100% لتحضير $U - 235$ بنسبة نقاء 99%، يلزم استخدام حوالي 4000 مرحلة فصل.

عندما تكون n ضخمة جدا، فإن معامل الفصل يكون كبيرا بشكل واضح بما يؤدي إلى الفصل الكثير للنظائر.

ب- طريقة التقطير: (Distillation Method)

نظائر العنصر لها خصائص طبيعية مختلفة إلى حد ما. هذا الاختلاف ينتج من الاختلاف في كتلتهم النووية (Nuclear Masses) كلما زاد الفرق في كتلتهم النسبية، كلما زاد الفرق في خواصهم الطبيعية.

2_1H يختلف عن 1_1H بنسبة 100% في كتلته النسبية. ولكن $^{13}_6C$ يختلف عن $^{12}_6C$ بما يعادل $1 \div 12$ فقط في كتلته النسبية.

لذلك، فإن نظائر العناصر (الخفيفة مثل الهيدروجين ذات الفرق الكبير في كتلتهم، لهم خواص طبيعية مختلفة كثيراً. هذا هو الأساس في فصل النظائر بالتقطير. فمثلاً، H_2O و D_2O لهم ضغوط بخار مختلفة. حيث D_2O يغلي عند $101.42^\circ C$ ، بينما H_2O يغلي عند $100^\circ C$ عند الضغط الجوي. لذلك، عند تقطير هذا الخليط. باستخدام عامود التقطير الجزئي (Fractionating Column) فإن المقطر يصبح باستمرار فقيراً في D_2 .

ج - الطريقة الإليكترونية (Electrolytic Method)

تم تطوير الطريقة الإليكترونية بواسطة (H.C. Very And Washbur) لفصل D_2O من الماء H_2O في مجال حامضي أو قلوي. يتصاعد H_2 بسرعة أكبر من D_2 (H_2O) يتحلل أكثر من D_2O) عند التحليل الكهربى لخليط من $H_2O - D_2O$. محلول نصف جزئى (0.5 M) من إيدروكسيد الصوديوم يتم تحليله كهربياً (Electrolysed) لحين وصول حجمه إلى عشر حجمه الأولى. المحلول القلوى المركز يتم معادلته بثانى أكسيد الكربون عندئذ يتم تقطيره لفصل الكربونات. المقطر (The Distillate) يحتوى على نسبة أكبر من D_2O عن الماء الأصلى المستخدم في تحضير المحلول القلوى.

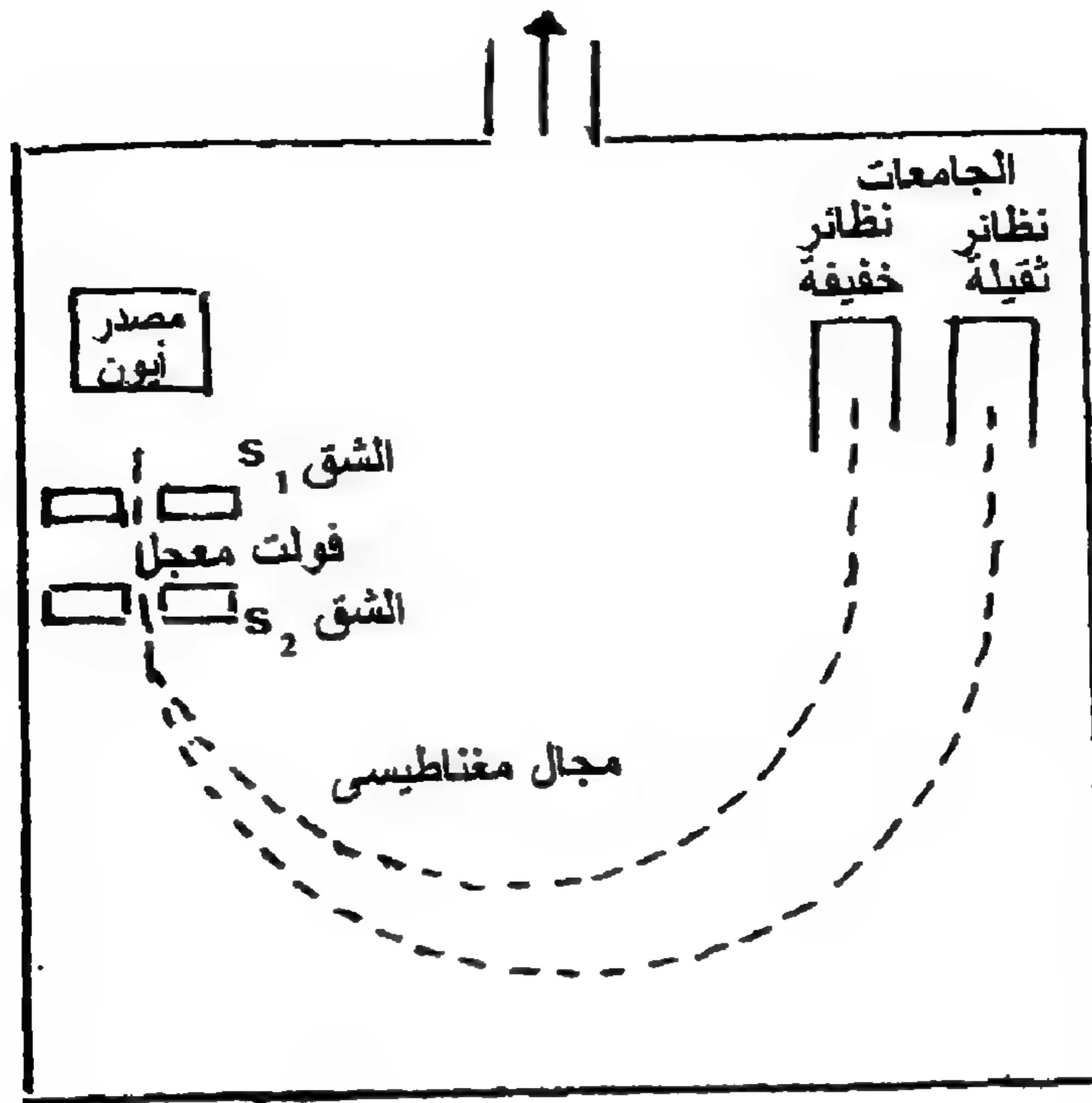
يتم تحويل المقطر إلى القلوية ثم التحليل الكهربى - عملية التعادل وإزالة الكربونات يتم تكرارها. نسبة D_2O إلى H_2O تكون أكبر ف المقطر الثانى مقارنة بالأول. بتكرار التحليل الكهربى عدة مرات في عدة مراحل، يتم الحصول على عينة من الماء محتوية على 99% من D_2O ، 1% من H_2O . فى كل مرحلة يتم تحلل H_2O تفضيلاً، بذا تنخفض نسبته فى المخلوط.

الاستهلاك العادى فى هذا الفصل مرتفع. عند البدء بحوالى ٢ لتر من الماء الطبيعى، سيتم الحصول على 0.1 C.C من D_2O (١، ٠ سم ٣).

د - الطريقة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Method)

فى هذه الطريقة يتم بتخير نظائر العنصر وعندئذ يتم الحصول على الأيونات الموجبة للذرات النظائرية. تلك الأيونات يتم عندئذ إسماعها (accelerated) بواسطة مجال كهربى وتركيزها إلى حزمة من الأشعة (Beam). حزمة الأشعة للأيونات الموجبة يتم توجيهها إلى مجال مغناطيسى ينتج بأقطاب مغناطيس كهربى داخل أنبوبة مفرغة. المجال المغناطيسى يجبر الأيونات على رسم مسارات منحنية. الأيون ذو الكتلة الأصغر يتم انحناءه أكثر من الأيون ذو الكتلة الأكبر بفعل المجال المغناطيسى. لذلك فإن هذين

النوعين من الأيونات ترسم مسارات منحنيين مختلفين وبذا يحدث انفصالهما. الأيونات يمكن جمعها منفصلة ومستقلة عند نهاية المسار الشبه دائري شكل (٤ / ٢).



شكل (٤ / ٢) الطريقة الكهرومغناطيسية لفصل النظائر

الجهاز المستخدم لفصل الأيونات الموجبة ذات كتل مختلفة بهذه الطريقة يسمى مقياس الكتلة الطيفي (Mass Spectrometer). أجهزة قياس الكتلة الطيفي هذه ذات كفاءة عالية ومطورة والتي يمكنها فصل نظيرين مختلفي الكتلة حتى 0.001 وحدة كتلة، وهذه الأجهزة متاحة. هذه الطريقة لها معامل فصل عالي.

هـ - طريقة التبادل الكيميائي:

هذه الطريقة لإخصاب (Enriching) النظير مبنية على حقيقة أن النظائر لعنصر ليس لها نشاطات متماثلة. هذا الاختلاف في السلوك الكيميائي يرجع إلى الاختلاف في كتلتهم، هذا التأثير يسمى تأثير النظير (Isotope Effect). هذا التأثير يسود في العناصر الأخف حيث أن نظائر العناصر الخفيفة تختلف بشكل كبير في كتلتها. في طريقة التبادل الكيميائي، يتم حدوث تفاعل اتزان الذي يشمل اثنين من نظائر العنصر النظيرين يوزعوا أنفسهم بدون تساوى بين أنواع الاتزان (Equilibrium

Species) بسبب اختلافهم فى النشاط الكيميائى. فمثلاً، عندما يكون $H_2O (L)$ و $D_2S (g)$ مخلوطين معاً، تحدث حالة اتزان



الديتريوم يميل إلى التركيز فى $D_2O (L)$.

العينة العادية لكبريتيد الهيدروجين تحتوى على كمية صغيرة من D_2S . لذلك، أولاً عند تفاعل هذا الغاز مع $H_2O (L)$ عند $25^\circ C$ ، فإنه يتكون $D_2O (L)$ لذلك، فى هذه الخطوة يحدث تخصيب للماء. كمية $H_2O (L)$ تقل وتلك لـ $D_2O (L)$ تزداد بسبب أن الاتزان يميل قليلاً ناحية اليمين. جزء من الماء الذى تم تخصيبه (Enriched) بتفاعل الآن مع H_2S عند $100^\circ C$. عند درجة الحرارة هذه يميل الاتزان ليكون نحو اليمين.



D_2S الذى ينتج يستخدم مرة أخرى لإخصاب الماء عند $25^\circ C$ ، معادلة رقم (1). كبريتيد الهيدروجين يعمل كحامل للديتريوم فهو يعطى ذراته D إلى الماء عند $25^\circ C$ ويستعيدها عند $100^\circ C$. تكرار تلك العمليات ينتج عينتين من الماء أحدها مخصبة بـ D_2O والأخرى تفتقر لهذا النوع من النظير الثقيل.

هذه الطريقة لإخصاب الماء تسمى طريقة التبادل الحرارى - (الكيميائى المزودج) (Dual Temperature - Chemical Exchange Method). الماء المخصب الذى تم الحصول عليه بهذه الطريقة يتم عنده تقطيره جزئياً للحصول على إخصاب تالى. عينة الماء المخصب التالى يتم تحليلها كهربياً للحصول على $99.75\% D_2O$.

مثال:

عينة من غاز النيون مكونه من غازين، $Ne - 20$ ، $Ne - 22$. ما هو معامل الفصل لهذا الخليط فى عملية الدفع الغازى؟ قارن هذه مع فصل خليط $H_2 - D_2$ بنفس الطريقة.

الحل:

معامل الفصل (S) يعطى بالمعادلة.

$$S = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{\frac{22}{20}} = 1.05$$

بالنسبة لخليط $H_2 - D_2$ معامل الفصل هو 1.4 ، والذي هو أعلا كثيرا عن ذلك لنظائر النيون. هذا لأن $Ne - 20$ ، $Ne - 22$. يختلفا في كتلتهم بنسبة صغيرة $22 / 20 = 1.1$ ، بينما H_2 ، D_2 يختلفا في كتلتهم بنسبة كبيرة ($2 = 2 / 4$). لذلك فإن فصل خليط النيون في مرحلة واحدة يجب أن يكون أقل كفاءة عن ذلك لخليط الهيدروجين.

٤- الأيزوبارز: (Isobars)

الأيزوبارز هي النويات ذات نفس العدد الكتلي (Mass Number) - (A). فمثلاً، $^{10}_6C$ ، $^{10}_5B$ ، $^{10}_4Be$ هم أيزوبارز. الأيزوبارز هي نويات لعناصر مختلفة ذلك لأنها تحتوى على أعداد مختلفة من البروتونات. وزنها الذرى يختلف قليلا كما هو موضح بالجدول:-

جدول الأيزوبارز

النوية	عدد البروتونات (Z)	عدد النيوترونات	الرقم الكتلي (A)	الوزن الذرى
$^{32}_{14}S$	14	18	32	-
$^{32}_{15}P$	15	17	32	31.98409
$^{32}_{16}S$	16	16	32	31.98226
$^{32}_{17}Cl$	17	15	32	-

الأيزوتونز (Isotones)

الأيزوتونز هي نويات ذات نفس العدد من النيوترونات ولكن أعداد البروتونات مختلفة والعدد الكتلي (A) مختلف. بخلاف نفس العدد للنيوترونات ، لا يوجد شئ آخر مشترك بين الأيزوتونز. فهي تمثل عناصر مختلفة كما فى الجدول التالى:

جدول الأيزوتونز

النوية	عدد البروتونات (Z)	عدد النيوترونات	الرقم الكتلي (A)
$^{13}_6\text{C}$	6	7	13
$^{14}_7\text{N}$	7	7	14
$^{15}_8\text{O}$	8	7	15

الفصل الخامس

الكشف عن الإشعاع وقياس الإشعاع

Detection And Measurement Of Radiation

١ - الكشف عن الإشعاع:

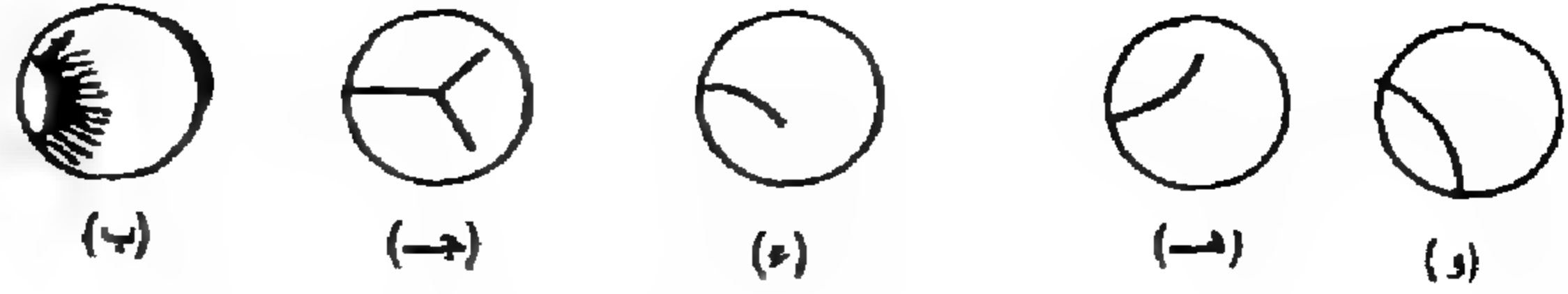
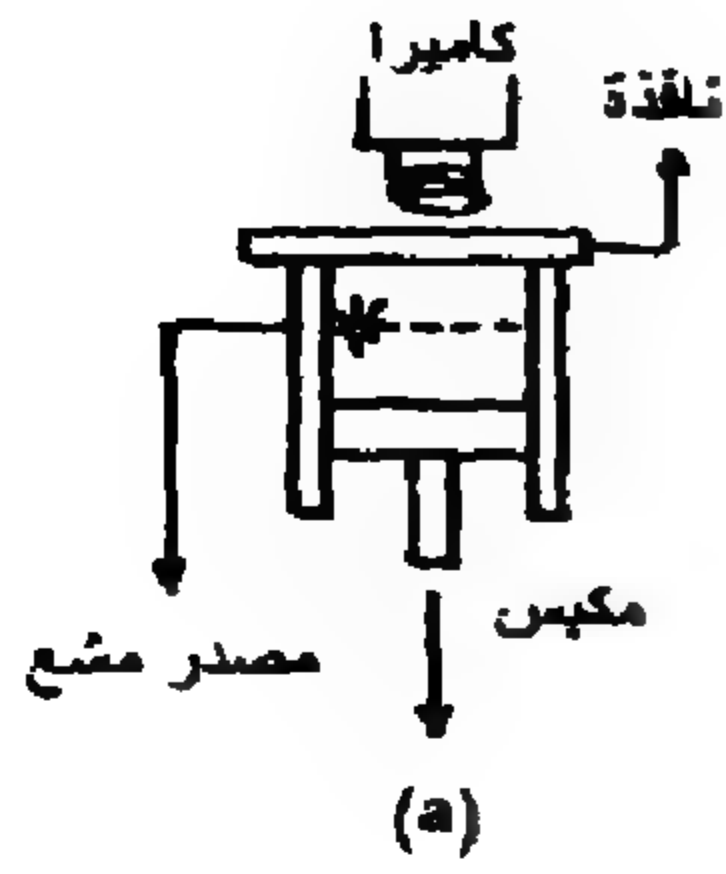
الإشعاع يتفاعل مع المادة، هذا هو الأساس في الكشف وكذلك لقياس كثافة الإشعاع.

أ - الكشف باللوحة الفوتوغرافية:

إشعاعات α ، β تؤثر على مادة الردغة الفوتوغرافية (Photo Emulsion) وكذلك تفعل أشعة إكس. هذه هي أبسط طريقة للكشف عن الإشعاع. هذه الطريقة استخدمها هنرى يريكويل في اكتشافه للنشاط الإشعاعي. هذه الطريقة الغير مكلفة لقياس الإشعاع بالأفلام الفوتوغرافية تستخدم في معامل العلوم النووية لرصد الإشعاع الذى يستقبله العاملون. كل عامل يرتدى فيلم كعلامة ودليل فى قميصه. هذا الفيلم يتم تحميضه من آن إلى آخر لتقدير كمية الإشعاع التى استقبلها الشخص. فى حالة استقبال العامل أكثر من الحد الآمن أثناء فترة معينة فإنه يتم إبعاده من مكان العمل لبعض الوقت.

ب - غرفة سحابة ولسون: (Wilson Cloud Chamber):

عند مرور إشعاع مؤين خلال بخار فى حالة فوق التشبع، فإنه تتكون نقاط سائل من البخار. إشعاع التآين ينتج أيونات فى البخار. تلك الأيونات عندئذ تعمل كنويات لتكوين السائل. نقاط السائل تنتج فى شكل مسار سحاب شكل (٥/١). مسار إشعاع التآين فى البخار يكون ممكن رؤيته بمسار السحاب. أشعات الفا تنتج مسارات كثيفة، مستقيمة، قصيرة. أشعات بيتا تنتج مسارات طويلة رقيقة. فى وجود مجال مغناطيسى هذين المسارين ينحنيا فى اتجاهات معاكسة. لذلك فإن طبيعة الإشعاع سواء كان α أو β يمكن كذلك تعيينه باستخدام غرفة السحاب، مسارات غرفة السحاب يمكن تصويرها.



- (ب) مسارات الجسيمات
(ج) تغير المسار بسبب تصادم الجسيمات
(د) انحراف مسار ألفا في المجال المغناطيسي
(هـ) انحراف مسار بيتا في المجال المغناطيسي (B)
(و) انحراف مسار β في المجال المغناطيسي

شكل (٥/١) غرفة السحاب لويلسون أ

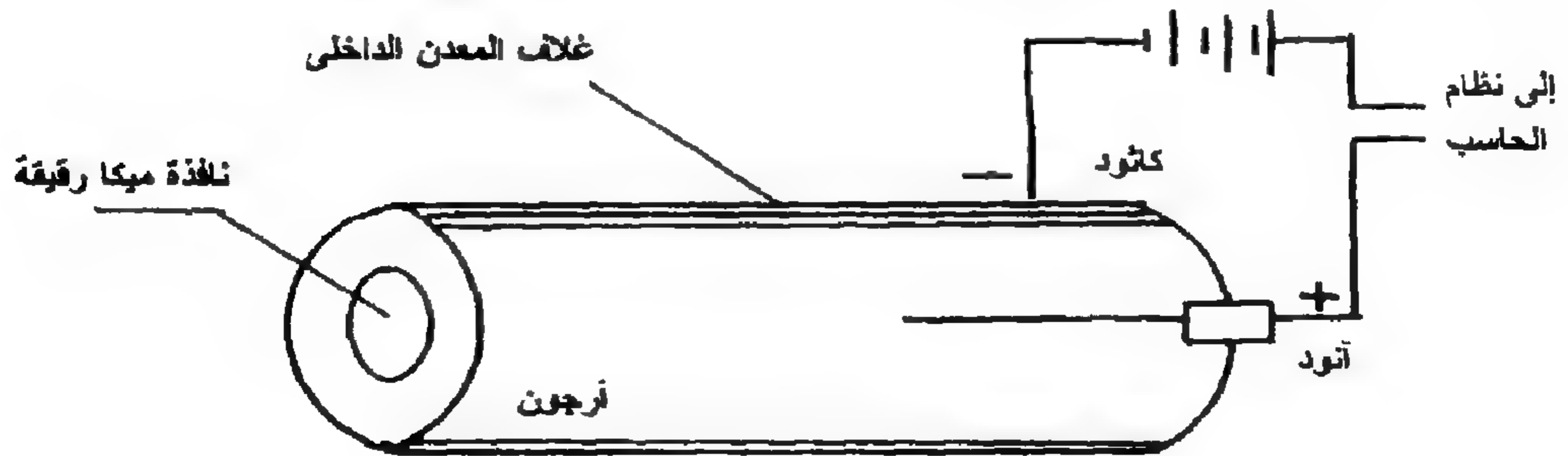
ج - غرفة الفقاعة (Bubble Chamber) :

هذه التجهيزة هي تطوير لغرفة السحاب. في غرفة الفقاعة، يتم المحافظة على سائل الهيدروجين عند درجة حرارة غليانه تماما. عند مرور إشعاع مؤين خلاله، تنتج أيونات. تلك الأيونات تعمل على تكوين فقاعات في السائل. تلك الفقاعات تتكون كمسار الذي يمكن تصويره وتحليله.

٢ - قياس الإشعاع : (Measurement Of Radiation) :

أ - عداد جيجر - مولر : (Geiger - Muller Counter)

هذا الجهاز اخترعه العالمان الألمانيان جيجر ومولر. وهو يتكون من أسطوانة معدنية ذات نافذة دقيقة من الميكا عند أحد الأقطاب شكل (٥ / ٢). هذه تحتوى على غاز (عادة الأرجون) عند ضغط منخفض.



شكل (٥/٢) عداد جيجر - مولر

الأنبوب نفسه يعمل كأنود لدائرة كهربية. سلك مثبت على طول محور الأنبوب يعمل أنود. الدائرة الكهربائية ليست كاملة ذلك لأن الغاز لا يوصل التيار. عند عمل الإشعاع

لمرور خلال تلك الأنبوبة ، خلال النافذة من الميكا فإنه يسبب تأين للغاز. الأيونات عندئذ تنجذب نحو السلك المركزى فى الأنبوب. السلك المركزى والأسطوانة الخارجية تتم المحافظة عليهما عند فرق جهد عالى ، الذى يسبب حركة للأيونات المتكونة فى الغاز. هذه الأيونات المتحركة تصدم بجزئيات الغاز الكثيرة وتنتج كميات كبيرة من الأيونات. هذا يؤدي إلى انفجار (نبضات) للتيار الكهربى حيث الدائرة تكون مكتملة فى الأنبوب. بمقارنة تلك الأعداد مع الأعداد باستخدام مصدر إشعاع قياسى معروف تحت نفس الظروف ، فإنه يمكن قياس الإشعاع من مصدر الاختبار.

ب - عداد الوميض : (Scintillation Counter)

يتكون عداد الوميض من بلورات من أيوديد الصوديوم (NaI) المخلوط مع آثار من مادة (Thallium Anthracene) هذا الخليط ينتج ووميض (ومضات ضوئية) عند سقوط إشعاع مؤين عليه. هذا الوميض يتم عندئذ قياسه بجهاز إلكترونى لتعيين كمية الإشعاع.

٣ - وحدات الإشعاع النووى : Units Of Nuclear Radiations

الإشعاعات النووية يتم قياسها بنوعين من الوحدات.

أ - النوع الأول :

النوع الأول من الوحدات هو كورى (Ci - Curie) لوصف كثافة مصدر الإشعاع. واحد كورى هو كمية المادة المشعة التى تنتج 3.7×10^{10} تحللات (Disintegrations) فى الثانية. لذلك فإن وزن واحد كورى لـ (^{238}U) يختلف عن وزن واحد كورى لـ ^{40}K .

قيمة التحللات فى الثانية (dps) 3.7×10^{10} تم اختيارها كمقياس معايرة على أساس حقيقة أن واحد جرام من الراديوم ينتج 3.7×10^{10} إشعاعات فى الثانية.

وحدات (SI) للإشعاع هى البيكريل (Bq - Becquerel) ويعرف بأنه كمية النظير الذى يعطى تحليل واحد فى الثانية

$$1 \text{ ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 27 \times 10^{-12} \text{ ci}$$

ب - النوع الثانى :

النوع الثانى لوحدة يرسم قياس امتصاص الإشعاع بالأنسجة او الهواء. مثل هذه الوحدة تعطى جرعة الإشعاع المستقبلية. تستخدم ثلاث وحدات من جرعة الإشعاع وهى الرونتجن ، الرم ، الراد.

أ - الرونتجن (Rontgen)

الرونتجن هو كمية الإشعاع جاما أو إشعاع إكس اللازم لإنتاج أيونات حاملة لوحدة اليكتروستاتيكية واحدة من الشحنة فى سنتيمتر مكعب من الهواء الجاف عند الضغط ودرجة الحرارة القياسى. هذه الوحدة تم تسميتها على شرف العالم الألمانى رونتجن المكتشف لأشعة إكس.

ب - الراد : (Rad)

الراد هو : امتصاص مائة أرج من الطاقة لكل جرام من النسيج الماص.

ج - الرم : Rem :

وحدة الرم تعرف بناتج الجرعة الممتصة بالراد والتأثير البيولوجى النسبى (RBE) Relative Biological Effectiveness للإشعاع القادم.

$$\text{Rem} = \text{rads} \times \text{RBE}.$$

التأثير البيولوجى النسبى (RBE) يرمز إلى القدرة النسبية لمختلف أنواع الإشعاع لإحداث التآين. قيمة (RBE) التى تساوى واحد تم تعيينها لأشعة جاما. وهى كذلك واحد لأشعة إكس. وهى عشرة لأشعة جاما. لذلك فإن جرعة قيمتها واحد راد من أشعة جاما أو 0.1 راد من أشعة ألفا كل سيكون له قيمة واحد رم (Rem) ويكون له نفس التأثير على الأنسجة.

بالنسبة للنيوترونات فإن قيم (RBE) تتراوح من 2.5 إلى 10.5 طبقا لسرعتها وطاقاتها جسم الإنسان يستقبل حوالى 50 مليريم (Millirems) فى العام من إشعاع أرضى (من القشرة الأرضية) وحوالى 50 مليريم من الأشعة الكونية (Cosmic). فى أشعة إكس للصدر يستقبل المريض 100 - 200 مليريم. عند مشاهدة شخص للتليفزيون الملون لمدة ساعتين فى اليوم، فإنه فى العام يستقبل 4 مليريم من الإشعاع كما فى الجدول الآتى. الشخص المقيم عند تخوم محطة طاقة نووية يستقبل حوالى 5 مليريم فى العام. وهذا أقل كثيرا من التعرض الخلفى.

جدول البيانات البيولوجية للإنسان

مصدر الإشعاع	الإشعاع الذى يستقبله الإنسان بالمليريم
أرضى (U طبيعى ، Th ... الخ)	55 فى العام
مصادر داخلية (خلال الغذاء)	25 فى العام
أشعة كونية	40 فى العام
أشعة إكس على الصدر	100 - 200 / لكل تعرض
مشاهدة التليفزيون	4 فى العام
المفاعل النووى (القريب من المساكن)	1 - 5 فى العام.

مسألة:

النظير K - 40 هو باعث لأشعة بيتا، وله نصف عمر = 1.2×10^9 سنة. ما هي كتلة K - 40 التى تقابل النشاط لواحد كورى؟.

الحل:

واحد كورى = 3.7×10^{10} (dps) تحللات فى الثانية

$$\text{معدل التحلل} = \lambda = \frac{-dn}{dt} = \text{نشاط العينة.}$$

N = هو عدد النويات المشعة.

λ = يعبر عنها بمقلوب الثوانى (S-1)

إذا تم التعبير عن النشاط بالتحللات فى الثانية (dps)

$$T_{1/2} \text{ بالثوانى} = (1.2 \times 10^9 \text{y}) \left(\frac{365 \text{ يوم}}{\text{السنة}} \right) \left(\frac{24 \text{ ساعة}}{\text{اليوم}} \right)$$

$$1016 \times 3078432 \text{ ثانية} = \frac{60 \text{ دقيقة}}{\text{الساعة}} \times \frac{60 \text{ ثانية}}{\text{الدقيقة}}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{3.78432 \times 10^{16}} = S^{-1} \times$$

$$= 1.8312 \times 10^{-17} S^{-1}$$

النشاط (Activity) λN

$$\frac{\text{النشاط}}{\lambda} = N$$

النشاط = I Ci = 3.7×10^{10} تحللات (dps)

$$\therefore N = \frac{3.7 \times 10^{10}}{1.8312 \times 10^{-17}} = 2.020 \times 10^{27} \text{ atoms}$$

واحد جزئى (Imole) من K - 40 يحتوى 6.022×10^{23} atoms.

عدد الجزيئات = ل K - 40 اللازمة ليكون لها نشاط Ici

$$= \frac{\text{Atoms } 2.020 \times 10^{27}}{\text{Atoms mole}^{-1} 6.022 \times 10^{23}} = 3.3553 \times 10^3 =$$

واحد جزئ من 40 - K = 39.976 g

$\therefore 103 \times 3.3557$ جزئ من 40 - K

= 39.976 x 3.3553 x 103 جرام

= 134131.5 جرام

لذلك 134131.5 جرام من 40 - K يكون له نشاط = Ici

مسألة ٢ :

عينة من $^{22}_{10}\text{SR}$ لها نشاط أصلي أمليكوري - احسب النشاط النوعي للعينة.

$$\frac{0.693}{T_{1/2}} = \lambda$$

$T_{1/2}$ لإسترنثيوم = 19.9 سنة

$$\frac{0.693}{19.9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = \lambda \therefore$$

$$1.1 \times 10^{-9} = \frac{0.693}{627566400} =$$

النشاط الأصلي (الأولى) $A_0 = 1.1 \times 10^{-9} \times N_0$

$A_0 =$ واحد ملي كوري = 3.7×10^7 (dps)

$$\therefore N_0 \times 1.1 \times 10^{-9} = 10^7 \times 3.7$$

$$\text{Atoms } 3.36 \times 10^{16} = \frac{3.7 \times 10^7}{1.1 \times 10^{-9}} = N_0$$

$$\frac{(3.36 \times 10^{16} \text{ atoms}) (90.0 \text{ g / mole})}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms / mole}} = \text{كتلة الإسترنثيوم}$$

$$5.0 \times 10^{-6} \text{ g} =$$

$$\frac{\text{عدد التحلات في الثانية}}{\text{كتلة المادة المشعة}} = \text{النشاط النوعي}$$

$$\frac{3.7 \times 10^7}{5.0 \times 10^{-6}} =$$

$$7.4 \times 10^{12} = \text{تحلات في الثانية للجرام}$$

الفصل السادس

التحولات النووية (Nuclear Transmutations)

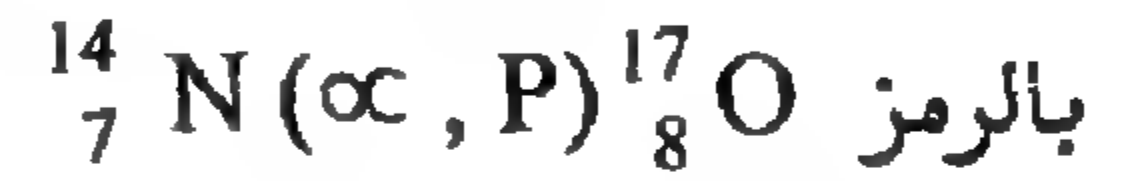
لقد لاحظ رزرفورد انه عند توجيه جسيمات ألفا عاليه السرعة من ^{214}Po نحو هدف نيتروجين، فإنه أنتج $^{17}_8\text{O}$ و ^1_1H لقد حدث تفاعل نووى صناعى بين $^{14}_7\text{N}$ و ^4_2He حيث



$$7 + 2 = 8 + 1 \quad \text{النيترونات}$$

$$7 + 2 = 9 + \text{صفر} \quad \text{النيترونات}$$

هذا كان أول تفاعل نووى صناعى وهو يسمى التحول النووى ويرمز له



(التحول النووى هو تحويل نواه الذرة إلى أخرى صناعيا).

١- تقنيات التحول:

النواة المطلوب تحويلها يتم قذفها بجسيم على السرعة. النواة التى تم قذفها تسمى الهدف (Target) والجسيم يسمى القذيفة (Projectile). الجسيم يتم إسرعه لتقويه دخوله والتفاعل مع نواه الهدف ومقاوما لتنافر كولومب (Coulombic Repulsion) (حاجز الجهد) بين الاثنين. التحول النووى يمكن عموما وصفه كالآتى:

نواه الهدف + المقذوف \longrightarrow نواه منتجه + جسيم + طاقة.

النواة المنتجة يمكن أن تكون مشعة. هذا النشاط الإشعاعى يسمى النشاط الإشعاعى الصناعى.

الإشعاعية لنظير منتج صناعيا هى إشعاعية صناعية أو إشعاعية حثية

(Induced Radio activity)

آلية التحول: (Transmutation Mechanism)

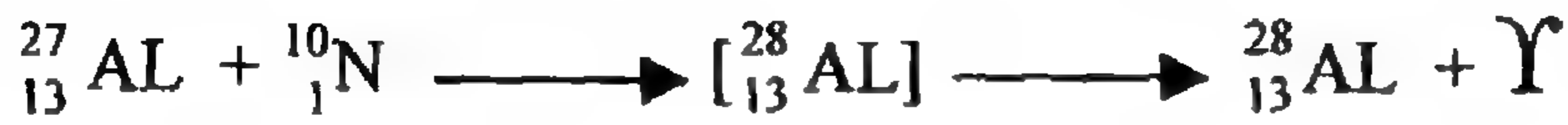
آلية التفهم للتحول النووى اقترحت بواسطة (Nils Bohr). حيث اقترح أن نواه

الهدف والمقذوف يتفاعلا ويكونا وسيط (Intermediate) الذى يسمى نواه مركبة

(Compound Nucleus)

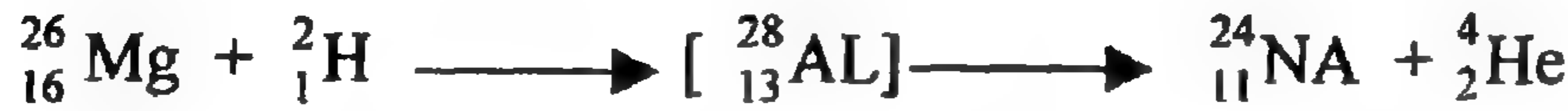
هذا الوسيط غير مستقر بدرجة كبيرة، وله نصف عمر من 10^{-14} إلى 10^{-12} ثانية. أثناء هذه الفترة فإن الطاقة التي أدخلت بواسطة المقذوف يتم توزيعها خلال النواة. هذا ينتج نواه "مستثارة - Excited" حيث يهرب منها نيوكلون أو مجموع من النيوكلونات من خلال اكتساب الطاقة (النيوكلون = بروتون أو نيوترون).

الجسيم الذى يهرب من النواة المركبة يجب أن يكتسب طاقة كافية للتغلب على رباطه مع النواة. هذا الهروب يترك بناء نووى أكثر استقرارا. عند ما تكون طاقة النواة المركبة ليست كافية لقذف (Ejection) جسيم، فإن النواة المركبة تبعث طاقة زائدة فى شكل إشعاع جاما.



نواه مكربة.

فى هذا المثال، تستخدم النيوترونات الحرارية (النيوترونات ذات طاقة منخفضة)، النواة المركبة لها طاقة إثارة. منخفضة كإشعاع وتكون نظير لنواه الهدف. عند استخدام قذيفة ذات طاقة عالية مثل ${}_1^2\text{He}$ ، لتكوين النواة المركبة $[{}_{13}^{28}\text{AL}]$ ، فإنها يمكن أن تبعث جسيم.



طبقا لنظرية جوهر، فإن طبيعة تحليل النواة المركبة تتوقف على طاقة المقذوف المستخدم، لا تعتمد على كيفية تكوين النواة المركبة.

١ - أنواع التحول النووى:

يمكن تقسيم التحولات النووية على أساس طبيعة التفاعلات.

أ - تفاعلات اقتناص المقذوف (projectile Capture Reactions)

فى هذا النوع من التحول اقتناص المقذوف بواسطة النواة الهدف يؤدي إلى انبعاث إشعاع جاما بدون مصاحبة أى جسيم.



عموما، اقتناص النيوترون يتبعه انبعاث جاما. مثل هذا التفاعل يسمى الاقتناص المشع (Radioative Capture)، ذلك لأن اقتناص المقذوف ينتج إشعاع فقط.

ب – تفاعلات اقتناص المقذوف وانبعاث الجسيم:

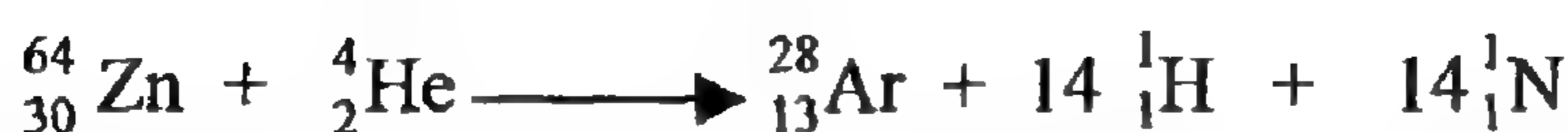
Projectile - Capture Particle - Emission Reactions

فى هذا النوع من التحول اقتناص المقذوف ينتج نواه مركبة التى عندئذ تكتسب استقرار بانبعاث واحد أو اثنين من الجسيمات.



ج – تفاعلات التشطى: (Spallation Reactions)

كلمة تشطى يعنى بها تفتيت. فى هذا التحول ، يقوم المقذوف بتفتت جزء من النواة الهدف.



يلزم مقذوف على السرعة للتفتت. المنتج الرئيسى فى هذا التفاعل هو نواه ذات حجم أصغر من نواه الهدف نظرا لتفتت العديد من الجسيمات بعيدا عن نواه الهدف.

د – تفاعلات الانشطار: (Fission Reactions)

تفتت نواه كبير، إلى اثنين أو أكثر من النويات متوسطة الحجم يسمى الانشطار النووى.



النويات ذات $A < 200$ تميل إلى الانشطار عند قذفها بمقذوف.

ه – تفاعلات الاندماج: (Fusion Reactions)

تجميع نويتين صغيرتين لتكوين نواه أثقل مستقرة هو الاندماج النووى.

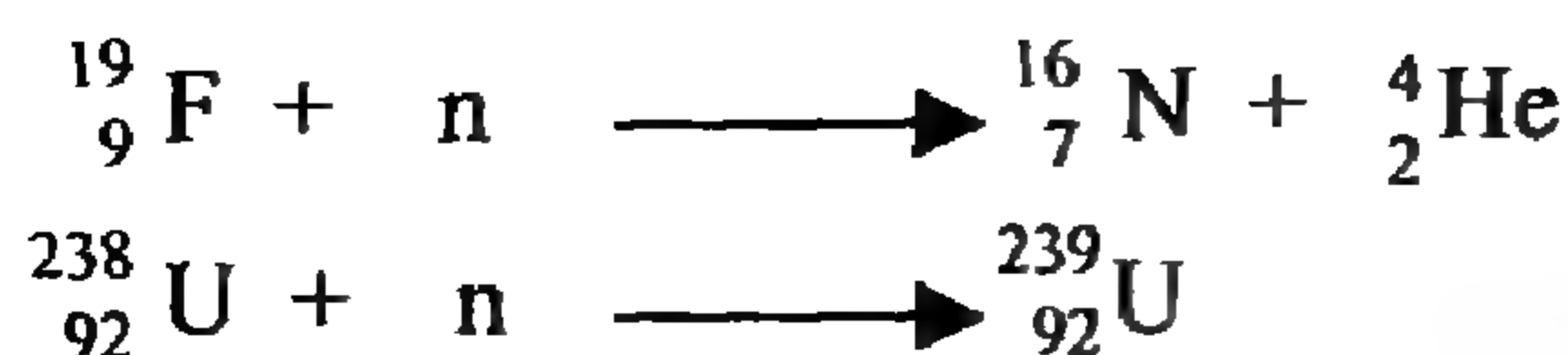


كلا من الانشطار النووى والاندماج النووى هما منتجين للطاقة العالية (Highly Exoergic)

٣ – طريقة أخرى لتصنيف التحول النووى طبقا لنوع المقذوفات المستخدمة:

أ – التحول النووى بواسطة النيوترونات:

النيوترون هو المقذوف الأكثر استخداما للتحولات النووية. فهو، لكونه ليس له شحنة لا يشكل أى حاجز كولومبى للتفاعل مع نواه الهدف. فهو لذلك يكون المقذوف الأكثر تأثيرا.



ب - التحول النووي بواسطة البروتونا :

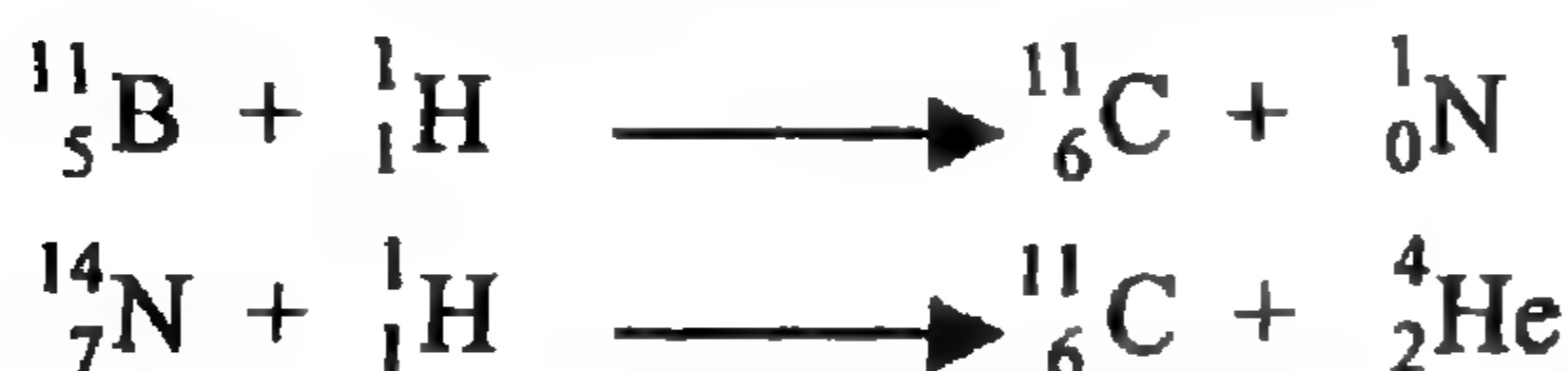
القذيفة الحاملة لشحنة يحدث لها تنافر كولومبي عند اقترابها من نواه الهدف. هذا التنافر يكون بسبب لشحنات الموجبة للقذيفة ونواه الهدف. هذا التنافر يسمى حاجز الجهد (Potential Barrier) ويرمز له بالآتي :

$$V = \frac{z^1 z^2 e^2}{r^1 + r^2} \quad \text{حيث :}$$

Z_1, Z_2 هما الشحنة على كل من نواه الهدف والمقذوف على التوالي، r_1, r_2 هما نصف أقطارهما.

e هي الشحنة الكهروإستاتيكية.

هذا التنافر يلزم التغلب عليه لحدوث التفاعل المؤثر بين القذيفة الحاملة للشحنة ونواة الهدف. هذا يتم بإسراع القذيفة. زيادة الطاقة الحركية للقذيفة تتغلب على التنافر (البروتون السريع Accelerated) يمكن بذلك أن يعمل كقذيفة للتحول.



ج - التحول بالديوترون (Transmutations By Deuterons)

الديوترون قذيفة مؤثرة للتحولات :



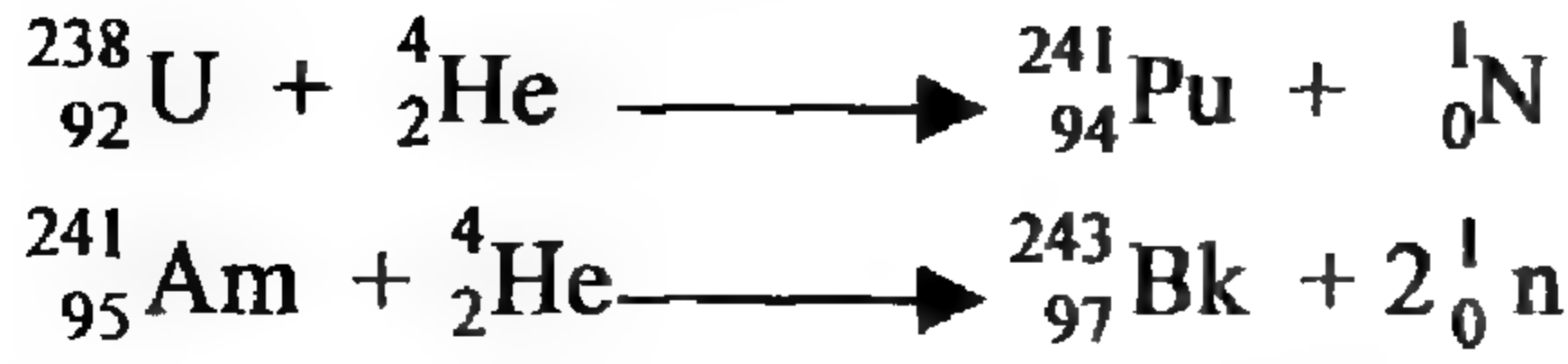
من المفترض أنه ينقسم إلى البروتون والنيوترون عند الاقتراب من الهدف، عندئذ، يتم امتصاص النيوترون بواسطة الهدف ويتم تحرير البروتون.

د - التحول بجسيمات ألفا : (Trans Mutations By Alpha Particles)

جسيم الفا، لكونه ذو شحنة مزدوجة، فإنه يشكل حاجز طاقة أكبر من البروتون عند الاقتراب من النواة الهدف. لذلك، فإنه يجب أن يكتسب طاقة حركية عالية لأحداث التحول



تخليق عناصر ذات عدد ذرى أكبر من العدد الذرى لليورانيوم، (Transuranic) تم تحقيقه بواسطة جسيمات ألفا عالية السرعة.



العمل الكبير فى مجال التحول للعناصر يختلف المقذوفات الذى قادة (G.T. SeABORG) ورفاقه فى كاليفورنيا قد أدى إلى التفهم الأفضل لتخليق العناصر الثقيلة.

هـ - التحول بالأيونات الثقيلة: (TRANSMUTATION By Heavy Ions)

الأيونات الثقيلة مثل ${}_1^3\text{H}$ ، ${}_2^4\text{He}$.. الخ ممكن كذلك أن تعمل لمقذوفات. ولكن إسراعها بما يكفى للتغلب على الحاجز الكولومبى يكون صعبا. مثال لمثل هذا التفاعل هو:



و - التحول بالإشعاع:

الإشعاعات مثل إشعاعات جاما (Y)، وأشعة إكس (X) استخدمت كذلك لإحداث التحولات النووية.



امتصاص طاقة الإشعاع يحدث اضطراب للنواة ويؤدى إلى انبعاث جسيم من النواة الهدف. مثل هذه التفاعلات تسمى التفاعلات النووية الضوئية (Photonuclear Reactions).

ز - تفاعل جسيم - جسيم: (Particle - Particle Reaction)

تفاعل جسيم - جسيم هو تحول نووى الذى فيه تقتنص النواة الهدف جسيم وينبعث منها جسيم آخر. التفاعلات الهامة جسيم - جسيم موضحة فى الجدول التالى: إشعاع جاما (γ) للتبسيط اعتبر مع الجسيمات رغم إنه لا يتكون من أى جسيمات ولكن يتكون من كم ضوئى (Photons).

جدول تحولات جسيم - جسيم.

مثال	التغير في			النوع
	A	N	Z	
$^{12}_7\text{N} (n, P) ^{12}_6\text{C}$	0	+1	-1	(n . p)
$^{12}_6\text{C} (n, 2n) ^{11}_6\text{C}$	-1	-1	0	(n, 2n)
$^{79}_{35}\text{Br} (n, \gamma) ^{80}_{35}\text{Br}$	+1	+1	0	(n . γ)
$^6_3\text{Li} (n, \alpha) ^3_1\text{H}$	-3	-1	-2	(n . α)
$^{33}_{11}\text{Na} (P, n) ^{33}_{12}\text{Mg}$	0	-1	+1	(P, n)
$^{27}_{13}\text{Al} (P, \gamma) ^{28}_{14}\text{Si}$	+1	0	+1	(P, γ)
$^9_4\text{Be} (P, d) ^8_4\text{Be}$	-1	-1	0	(P, d)
$^6_3\text{Li} (d, n) ^7_4\text{Be}$	+1	0	+1	(d, n)
$^7_3\text{Li} (d, p) ^8_3\text{Li}$	+1	+1	0	(d, p)
$^9_4\text{Be} (\gamma, n) ^8_4\text{Be}$	-1	-1	0	(γ , n)
$^{14}_7\text{N} (\alpha, P) ^{17}_8\text{O}$	+3	+2	+1	(α , p)
$^{27}_{13}\text{Al} (\alpha, n) ^{30}_{15}\text{P}$	+3	+1	+2	(α , n)

٤- فعالية الطاقة للتفاعل النووي: (Energetics Of Nuclear Reaction)

التفاعلات النووية مثل التفاعلات الكيميائية، تشمل تغيرات في الطاقة. ولكن تلك التغيرات في التفاعلات النووية أكبر كثيرا في مقدارها عن تلك في التفاعلات الكيميائية. أحيانا، في التفاعلات النووية، كما في حالة الانشطار تنطلق كميات ضخمة من الطاقة. هذه الطاقة الضخمة المنطلقة هي نتيجة تحول المادة إلى طاقة. هذا التحول للمادة إلى طاقة (Energy Conversion—Mass) يتم تفهمه طبقا لمعادلة أينشتاين.

$$E = mc^2$$

حيث m = الكتلة. C = سرعة الضوء.

فى انشطار U - 235 ، حوالى 0.1% من الكتلة المستخدمة يتحول إلى طاقة.
مجموع الكتل لـ U-235 وقذيفة النيوترون.

$$236u = 1 + 235 =$$

0.1% من الكتل المستخدمة فى الانشطار.

$$0.236U = \frac{U236 \times 0.1}{100} =$$

$$1.6604 \times 10^{-24}g = 1U$$

$$1.6604 \times 10^{-24} \times 0.236 = 0.236U \quad \therefore$$

$$\frac{1.6604 \times 10^{-24} \times 0.236}{1000} = \text{جرام}$$

$$= 3.9185 \times 10^{-28} \text{ كجرام}$$

$$E = mc^2$$

$$= (3.9185 \times 10^{-28}) \text{ Kg} \times (3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$$

$$= 3.527 \times 10^{-11} \text{ Joules (J)}$$

بفرض أن القنبلة الذرية تحتوى على واحد كيلو جرام من الوقود الانشطاري U235،
عندئذ فإن كمية الطاقة التى سوف تنطلق عند الانفجار لهذه القنبلة.

$$= \frac{1000 \times 3.527 \times 10^{-11} \text{ J / atom} \times 6.022 \times 10^{23}}{253}$$

$$= 9.04 \times 10^{13} \text{ J}$$

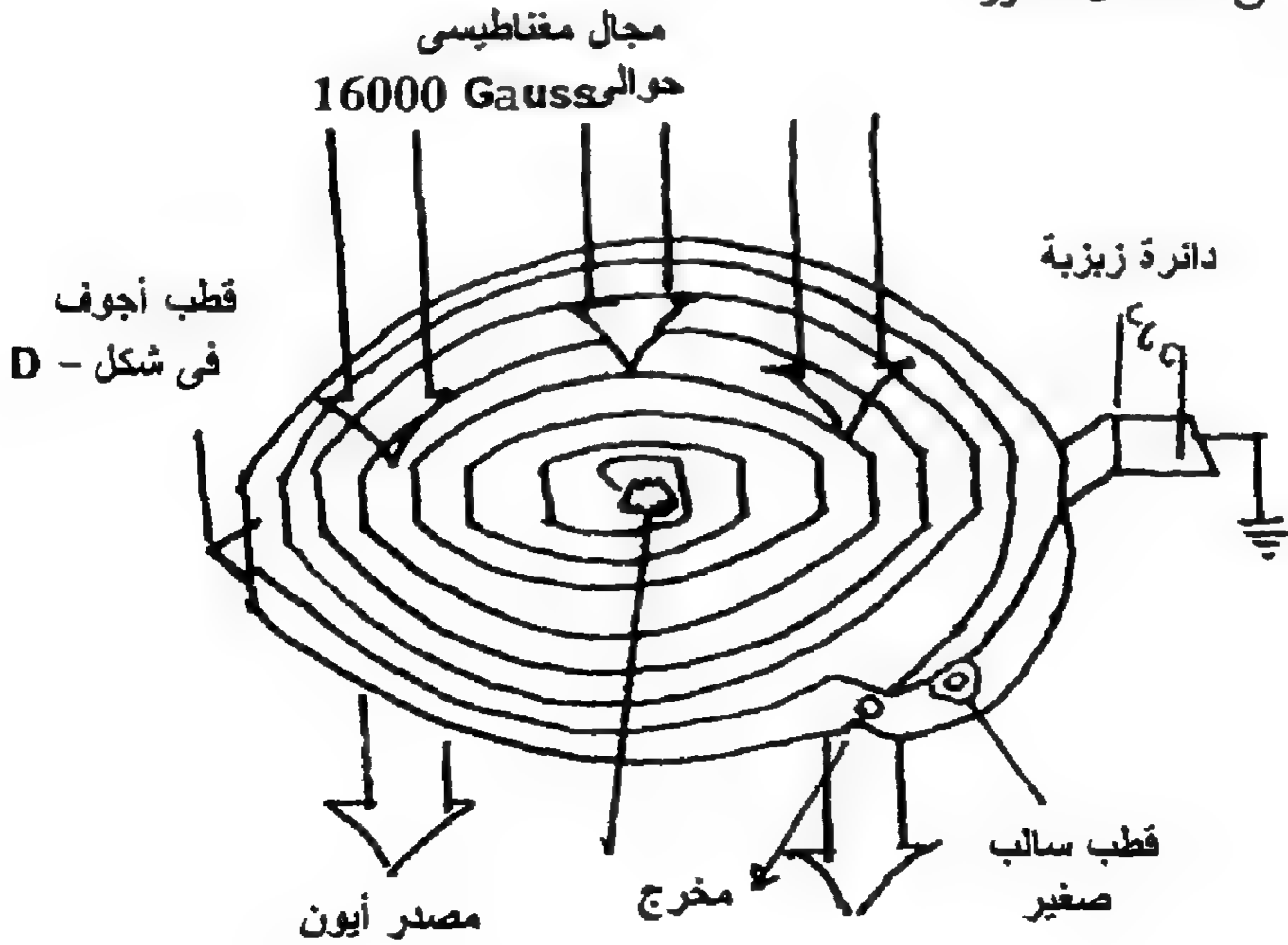
هذه الطاقة الضخمة تنطلق من القنبلة بطريقة تدميرية.

٥-إسراع الجسيم الحامل للشحنة (Particle Acceleration—Charged)

الجسيمات الفعالة والنشيطة (Energetic Particles) تكون مطلوبة لإحداث
التحولات النووية.. مثل هذه الجسيمات النشيطة يتم الحصول عليها فى المسرع
(المعجل) (Accelerator) . المسرع هو تجهيزه التى تمكن من إكساب طاقة مركبة عالية
للجسيم، خاصة تلك الحاملة للشحنة والتى تستخدم كقذيفة فى التفاعلات النووية.

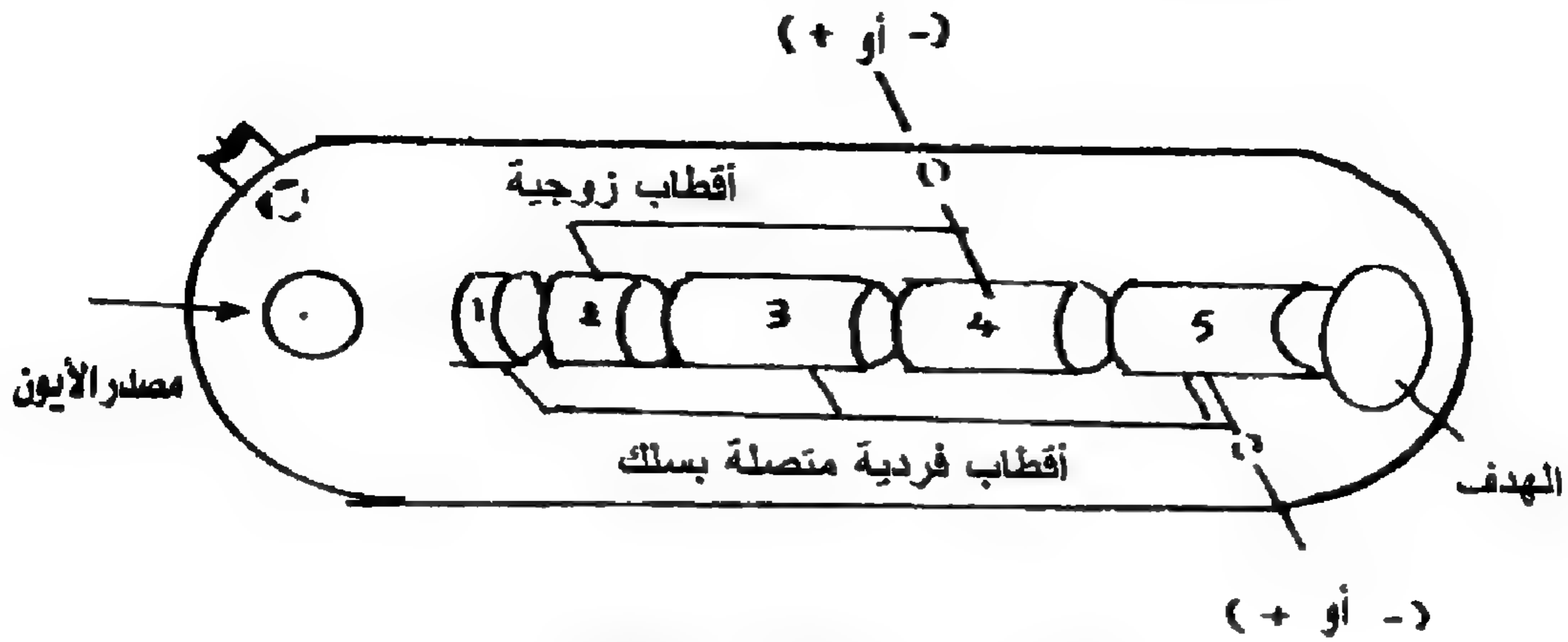
المسرّع الحلقي (المداري) (Cyclotron)

المسرّع الذى يسمى السيكلوترون شكل (٦/١) يتكون من صندوقين أجوفين مسطحين وقليلى ضغط الهواء (Flat). فى شكل شبة اسطوانى. تلك الصناديق تسمى اثنين D (The 2 Dees). (الديز يعنى مسربين مجوفين فى شكل نصف اسطوانى لتسريع الجسيمات فى السيكلوترون). كلا الديزين يتم شحنهم كهربيا، واحد موجب والآخر سالب. يتم استمرارهم خلال مجال مغناطيسى. الجسيمات اللازم استخدامها كمقذوفات يتم تكوينها فى مركز الفاصل بين الديزين: تلك الأيونات الموجبة يتم انجذابها نحو المدى سالب الشحنة. المجال المغناطيسى يدفع تلك الجسيمات للتحرك فى مسار دائرى. بعد المسار الشبة دائرى فإن الأيونات سوف تدخل الفاصل بين الديز (dees)، فى هذه اللحظة. يحدث انعكاس للشحنة الكهربائية على الديز حيث الجسيمات تنجذب إلى الديز المعاكس. الجسيمات يحدث لها إسرار عند مرورها الفاصل. فهى تتحرك على مسار دائرى أوسع فى المدى الجديد. هذه العملية يتم تكرارها عدة مرات بحيث إن الجسيمات تسير فى ممرات دائرية أكبر وأكبر عند كل مرحلة، تكتسب طاقة أكبر وأكبر. عند الوصول إلى طرف الديز يكون لها سرعة عالية جدا وتوجه نحو نواه الهدف للحصول على التفاعل النووى.



شكل (٦/١) السيكلوترون

أول مسرع للجسيمات المسمى المسرع الطولي شكل (٢) ثم بناؤه عام ١٩٢٨ بواسطة العالم الألماني (Rolf Wideroe). هذا المسرع يتكون من عدد من الأقطاب الأسطوانية ذات الزيادة في الطول، أقطاب تبادلية تم توصيلهم معا. عند تحرك الأيونات الموجبة خلال لأنابيب المنظمة طوليا فإنه يتم إصراعها بعكس جهود الأنبوب.



شكل (٦/٢) المعجل الطولي

مسألة:



بالنسبة للتفاعل

الفقد في الكتلة هو $3.09 \times 10^{-29} \text{ g}$ مع إفتراض أن تلك الكتلة تقابل اكتساب طاقات حركية لعدد اثنين من جسيمات ألفا، احسب إجمالي الطاقة الحركية (ب Mev) لكلا جسيمات ألفا.

الحل:

$$E = mc^2$$

طبقا لمعادلة أينشتاين

$$\begin{aligned} &= (3.09 \times 10^{-29} \text{ Kg}) (3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2 \\ &= 27.8 \times 10^{-13} \text{ Kg. m}^2 \text{ S}^{-2} \\ &= 27.8 \times 10^{-13} \text{ Joule} \\ \text{1ev} &= 1.6022 \times 10^{-19} \text{ Joule} \\ \therefore 27.8 \times 10^{-13} \text{ Joule} \\ &= \frac{2.78 \times 10^{-13}}{1.6022 \times 10^{-19}} \text{ ev} = 17.4 \times 10^6 \text{ ev} \\ &= 17.4 \text{ Mev} \end{aligned}$$

مثال:

احسب طول الموجه لفناء (Annihilation) الإشعاع الناتج بواسطة التفاعل الإتلافي ليويزيترون وإليكترون.

$$\text{كتلة } B^+ = \text{كتلة } B^- = 0.00055U$$

الحل:

يتفاعل البوزيترون والإليكترون لإنتاج إشعاع جاما. في هذه العملية يتم تدمير الكتلة الكلية.



$$\text{الكتلة المدمرة} = 2 \times 0.00055 u = 0.0011 u$$

$$E = mc^2$$

$$\text{طاقة إشعاع جاما } Y = \frac{0.0011 \times 931.2}{2} \text{ Mev}$$

$$= 0.512 \text{ Mev}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

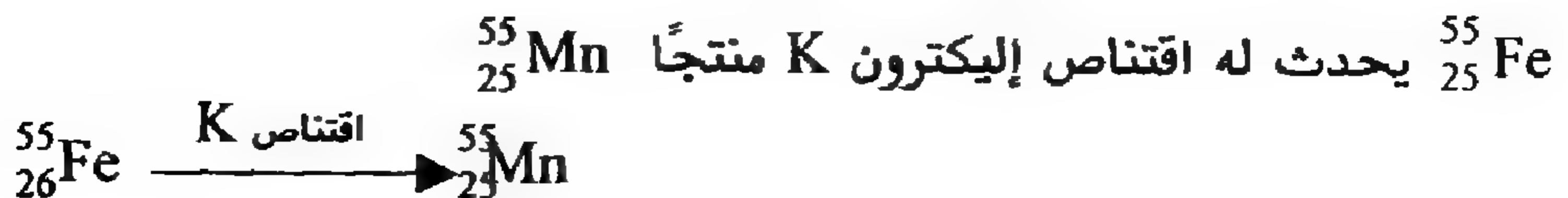
$$\lambda = \frac{hc}{E} = 0.024 \text{ A}$$

٦ - اقتناص الإليكترون (Electron Capture - Ec)

في اقتناص الإليكترون (EC) والذي هو نوع من التفاعل النووي، تقتنص نواة الذرة المشعة الإليكترون الزائد عن النواة (المدارى). الإليكترون الذى تم اقتناصه يتحد معه بروتون فى النواة ويكون نيوترون.

إليكترون + بروتون \longrightarrow نيوترون + نيوترينو.

أحد اليكترونات المدار (الغلاف) K، التى تكون أقرب إلى النواة عادة يتم اقتناصها، عندئذ هذا التفاعل النووى يسمى اقتناص إليكترون K. فمثلاً:



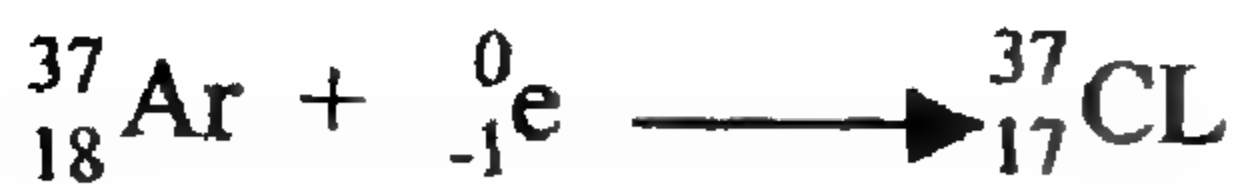
المنتج له بروتون واحد أقل ونيوترون واحد زيادة عن نواه التفاعل. لا يوجد تغير في العدد الكتلي (Mass Number) في هذه العملية. لذلك، فإن اقتناص إلكترون K يزيد نسبة p/n وبالتالي يساعد على الاستقرار النووي. نسبة $p : n$ لـ $^{55}_{26}\text{Fe}$ هي 1.12 ولكن بالنسبة لـ $^{55}_{25}\text{Mn}$ تكون النسبة 1.20. لذلك فإن اقتناص K هو شكل للتحلل الذي يزيد نسبة $p : n$ للنواة، هذه هي البديل لانبعاث البوزيترون لزيادة نسبة $p : n$.

اقتناص الإلكترون K يخلق فراغ في المدار K للذرة. مثل هذا الوضع يكون غير مرغوبا طبقا لمبدأ (Aufbau) للتنظيم الإلكتروني. لذلك، فإن الإلكترون L سوف يسقط نحو الغلاف K (المدار K). هذا الانفعال الإلكتروني يبعث إشعاعات في منطقة أشعة إكس. هذا الانتقال يتبعه عدد كافى من الانتقالات من المستويات الأعلى إلى المستويات الأدنى بحيث لا يكون هناك فراغات في أغلفة النواة الداخلية.

لذلك، فإن اقتناص K يتبعه انبعاث أشعة إكس، خاصية العنصر المنتج. اقتناص K يمكن كشفه ودراسته بتسجيل طيف أشعة إكس للعنصر المنتج.

اقتناص الإلكترون K ليس مثل الأشكال الأخرى للتحلل، حيث يتأثر بالحالة الكيميائية للذرة المشعة. يمكن تبرير هذا لأن هذا التحلل يشمل إلكترون زائد عن النواة، والذي بدوره يتأثر بالحالة الكيميائية للذرة. لذلك، يكون من الممكن اختلاف قليل في نصف العمر لاقتناص النواة للإلكترون K عندما نكون الذرات ذات العلاقة في حالات كيميائية مختلفة (حالات أكسدة). فمثلاً، نصف العمر لـ Be-7 أكبر بنسبة 0.023% عندما يكون في حالة العنصر عنه كما لو كان في حالة الأكسيد.

هذا الشكل من التحلل يكون نادرا بين العناصر المشعة الطبيعية إنه من العادى جدا بين العناصر المشعة المخلقة. فمثلاً النظير المخلق $^{37}_{18}\text{Ar}$ يحدث له اقتناص إلكترون ويكون $^{37}_{17}\text{Cl}$



الفصل السابع

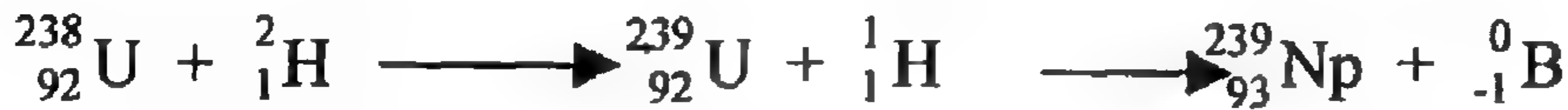
تخليق العناصر : (Syn thesis of Elements)

لقد كان حلم الكيميائيين هو تحويل معادن الأساس مثل الرصاص والحديد إلى الذهب. هذا الحلم تم التخلي عنه بعد قبول نظرية دالتون بخصوص عدم التلف والفناء للذرة (Indestructible atom). ولكن تحويل عنصر إلى آخر صناعيا أصبح حقيقة بعد اختراع المسرع المدارى الحلقى (Cyclotron). يستخدم السيكلوترون او تجهيز آخر مشابه لإنتاج جسيمات ذات طاقة عالية. تلك الجسيمات عند تصادمها بنويات الغرض الثقيلة تنتج نويات أكثر ثقلا.

كان أول عنصر تم إنتاجه صناعيا هو عنصر (Technicium) والذي تكوّن بقذف الموليدينوم (Mo) بالديتريوم



عند تصادم $^{238}_{92}\text{U}$ مع الديتريوم، يتكون العنصر $^{238}_{93}\text{Np}$ تكون Np يحدث خلال تكون $^{239}_{92}\text{U}$



$$T_{1/2} = 2.3 \text{ day}$$

Np لا يوجد فى الطبيعة فهو عنصر مخلّق.

١- العناصر ما بعد اليورانيوم: (Transuranic Elements)

العناصر المخلقة ذات أرقام ذرية أعلا من تلك لليورانيوم ($Z = 92$) تسمى العناصر ما بعد اليورانيوم. وهذه تشكل جزء من سلسلة الأكتيلينات (Actinide Series) والتي هى العناصر التى يزيد عدد الذرى عن 88 من بين عناصر التربة النادرة (Rare Eqrths)

أ- نبتونيوم: (Neptunium) ($Z = 93$)

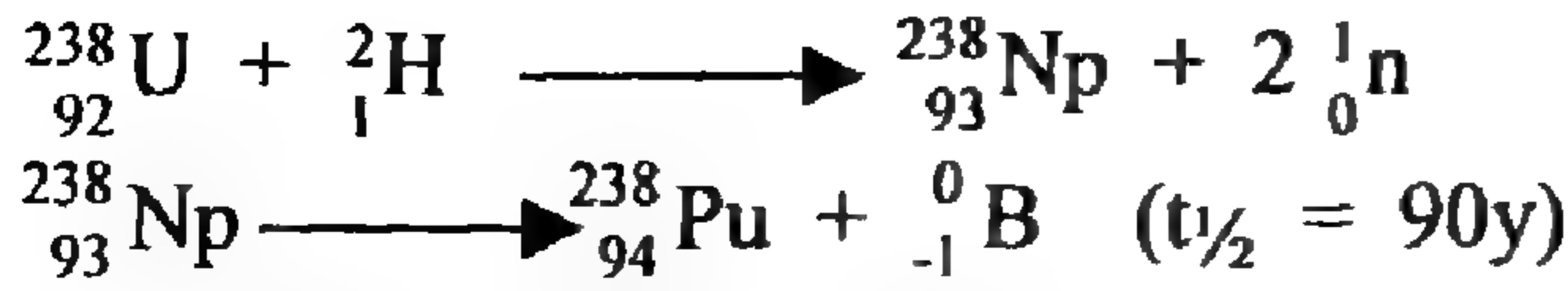
النبتونيوم كان أول عنصر ما بعد اليورانيوم (Trans uranium) تم تخليقه بواسطة

(E,M.Machillan) فى عام ١٩٤٠. تم تكوينه بقذف اليورانيوم بنيوترون بطئ.

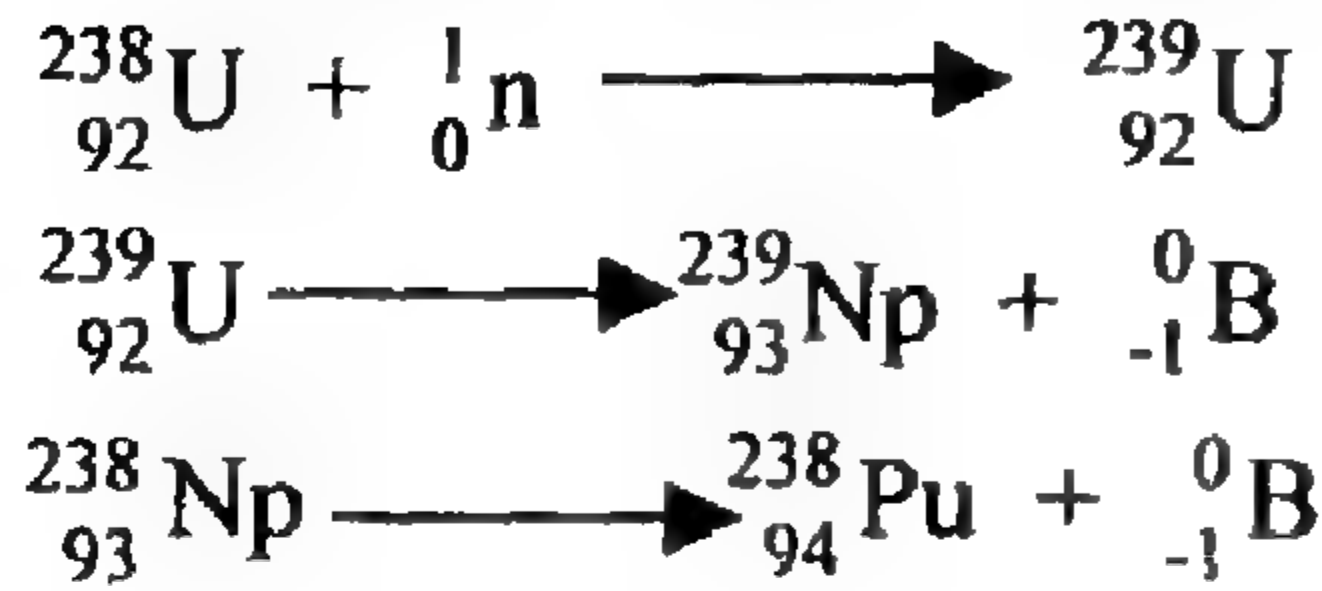


ب - البلوتونيوم: (Plutonium) (Z = 94)

Pu-238 تم تخليقه عند قذف U-238 بالديتيريون



نظيره Pu-239 ($t_{1/2} = 2.4 \times 10^4 \text{ y}$) تم تحضيره بقذف U-238 بالنيوترون.



• Pu-239 هو عنصر انشطاري بالنيوترون البطيء، مثل U-235 من المحتمل أن يصبح مصدرا هاما للطاقة النووية.

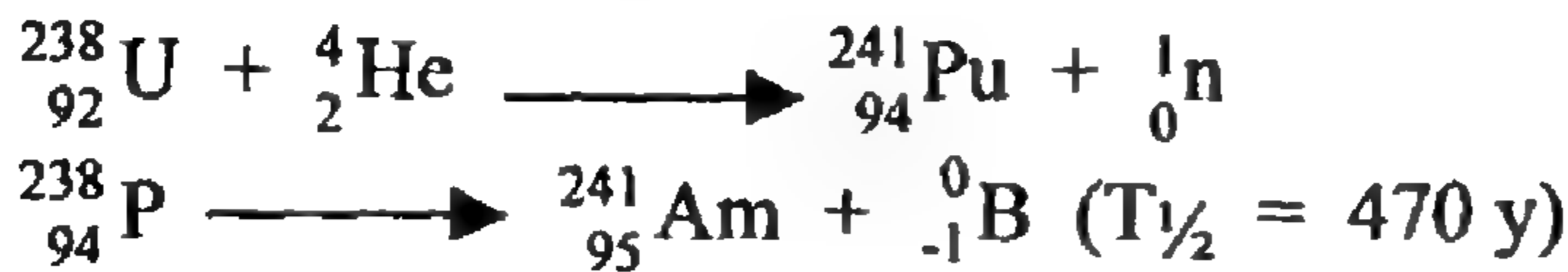
• P - 239 كان المادة الانشطارية التي استخدمت في القنبلة الذرية التي أسقطت على نجازاكي في عام ١٩٤٥.

• الأسماء نبتونيوم وبلوتونيوم مشتقة من أسماء أجرام سماوية Pluto , Neptune

• Pu هو من بين العناصر شديد السمية المعروفة. جرعة مقدارها 10^{-6} جرام تعتبر قاتلة والجرعات الأصغر تعتبر مسرطنة.

ج - أميريكيوم (Americium) (Z = 95)

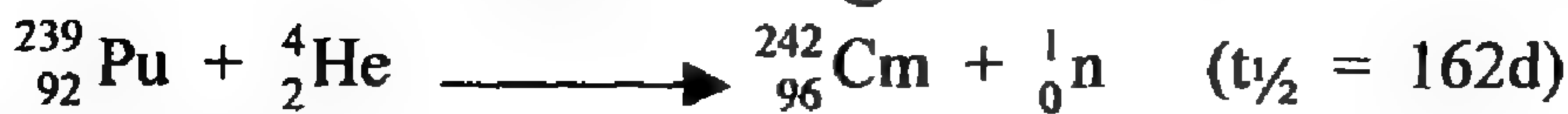
تم تخليق هذا العنصر بقذف U-238 بواسطة جسيمات ألفا عالية السرعة الخارجة من السيكلوترون.



هذا يبعث جسيمات ألفا ولذلك، فإنه يستخدم كمصدر معملّي لجسيمات ألفا.

د - كوريوم (Curium) (Z = 96)

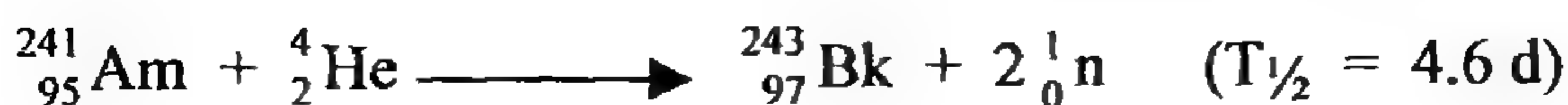
تم تصنيع هذا العنصر تتفاعل Pu - 239 مع جسيمات ألفا



سمي على شرف ميرى كورى وبيير كورى الذين قاموا بأبحاث مكثفة عن النشاط الإشعاعى الطبيعى.

هـ - بيركيليوم (Berkelium) (Z = 97)

تم تخليق هذا العنصر بقذف ^{241}Am بجسيمات ألفا عالية السرعة



لقد سمي على شرف جامعة بيركلي في الولايات المتحدة.

و - كاليفورنيوم (Californium) (Z = 98)

تم التصنيع بهذا العنصر بتفاعل $\text{Cm} - 242$ مع جسيمات ألفا



لقد سمي على شرف ولاية كاليفورنيا.

ز - أنشتينيوم (Einsteinium) (Z = 99)

هذا العنصر مسمى على شرف البرت أنشتين وأنتج بقذف $\text{U} - 238$ بقذيفة

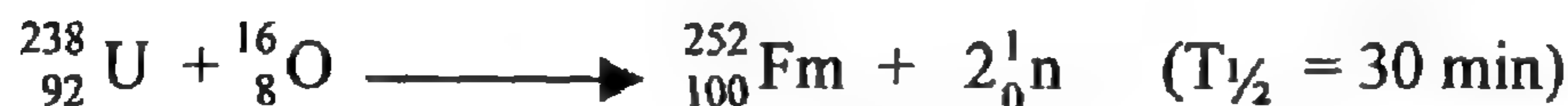
ثقيلة $\text{N} - 14$.



ح - فيرميام: (Fermium) (Z = 101)

وقد سمي هذا العنصر على شرف عامل الطبيعة الإيطالي (Fermi) وقد تم تصنيعه

بقذف $\text{U} - 238$ بواسطة $\text{O} - 16$



ط - مندليفيوم: (Mendelevium) (Z = 101)

تخليق منليفيوم يتم طبقا للمعادلة الآتية:



وهو كذلك غير مستقر أى أنه يحدث له انشطار فوري بعد تكوينه. وقد سمي على

شرف العالم الروسى دغيرى مندليف صاحب الجدول الدورى الشهير.

د - نوبيليوم (Nobelium) (Z = 102)

لقد كان أول تخليق لها العنصر فى معهد نوبل للطبيعية فى إستوكهولم بالسويد

حيث كان الاسم نوبيليسوم. وقد تم تصنيعه بقذف $\text{Cm} - 232$ بواسطة $\text{C} - 13$.



هذا كذلك مثل Mv يتحلل فى الحال.

ك - لوزينسام (Lawrencium) ($Z = 103$)

تم تخليق هذا العنصر من خلال التفاعل ما بين Cf - 253 و B - 10



٢- سلسلة الاكتيدات (Asctinide Series)

(وهي العناصر التي يزيد رقمها الذري عن 88) تكتمل عند العنصر 103.

العناصر ما بعد $Z = 103$: العناصر فائقة الثقل.

Elements Beyond $z = 103$: Superheavy Elements

تخليق العناصر بالرقم الذري $Z = 104, 105, 106, 107, 108, 109$ ثبت تبني

تقنية القذف لهدف ذو نواه ثقيلة بواسطة مقذوفات ثقيلة عند سرعة عالية

(Accelerated)

فمثلاً، العنصر 107، Bohrium، تم تخليقه بقذف Bi بقذيفة من Cr



إسراع مقذوف ثقيل مثل Cr - 24 يكون صعبا ويتطلب جهاز إسراع (Accelerator)

للجسيمات عالي التكلفة.

العنصر 109 تم تصنيعه بقذف Bi - 209 بواسطة قذيفة معجلة من Fe - 56

تلك العناصر تسمى العناصر فائقة الثقل. وهي عناصر (d - Black).

وجد أن لها نصف عمر قصير جداً.

جدول نصف العمر للعناصر فائقة الثقل.

Z	الاسم	الرمز	العدد الكتلي	T _{1/2} بالثوان
104	Ruther Fordium	RF	259	3
105	Dubnium	Db	261	65
			258	4
			260	1.5
			262	34
106	Seaborgium	Sg	260	180
107	Bohrium	Bh	262	0.12
108	Hassium	Hs	265	2 x 10 ⁻⁶
109	Meitnerium	Mt	266	5 x 10 ⁻⁶

العناصر ذات $Z = 114$ (الرقم السحري للبروتونات)، $Z = 116$ (مع رقم سحري لـ 164 نيوترون) يتوقع أن تكون مستقرة مع بناء نووي جيد. تم عمل محاولات لتخليق هذين العنصرين، النجاح في هذا تم تحقيقه قريبا بواسطة مجموعة من علماء الولايات المتحدة.

٣- تخليق العناصر فائقة الثقل (Synthesis Of Superheavy Elements)

تخليق العناصر فائقة الثقل عبر عنه بالمعادلات الآتية:



العنصر 109 تم تخليقه في ألمانيا في عام ١٩٨٢. حيث تمت عملية التخليق بالاندماج على البارد (Cold Fusion)، متضمنا الجمع بين نويات Bi, Fe عند درجة الحرارة العادية.



العناصر 110, 111, 112. تم تصنيعها في ألمانيا بواسطة جمعية الأبحاث للأيونات الثقيلة. وهذه العناصر لم يتم تسميتها العنصر 114 في حالة تصنيعه سوف يحتوى على

رقم سحرى للبروتونات (114) ورقم سحرى للنيوترونات (164)، لذلك فإنه يمكن أن يكون مستقرا لوجود ويعيش. $^{208}_{82}\text{Pb}$ شديد الاستقرار وله رقم سحرى للبروتونات (82) ورقم سحرى للنيوترونات (126) لذلك فإن العنصر 126، حيث النواة ذات رقم سحرى مزدوج يمكن كذلك أن يكون مستقرا.

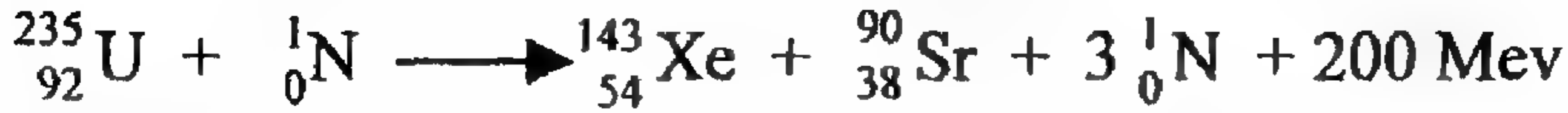
أبحاث عديدة يتم عملها لإنتاج هذين العنصرين ($Z = 114, 116$). هذين الاثنين يمكن أن يمثل جزر من الاستقرار النوى رغما عن رقمهم الذرى العالى وكذلك العدد الكتلى.

الفصل الثامن

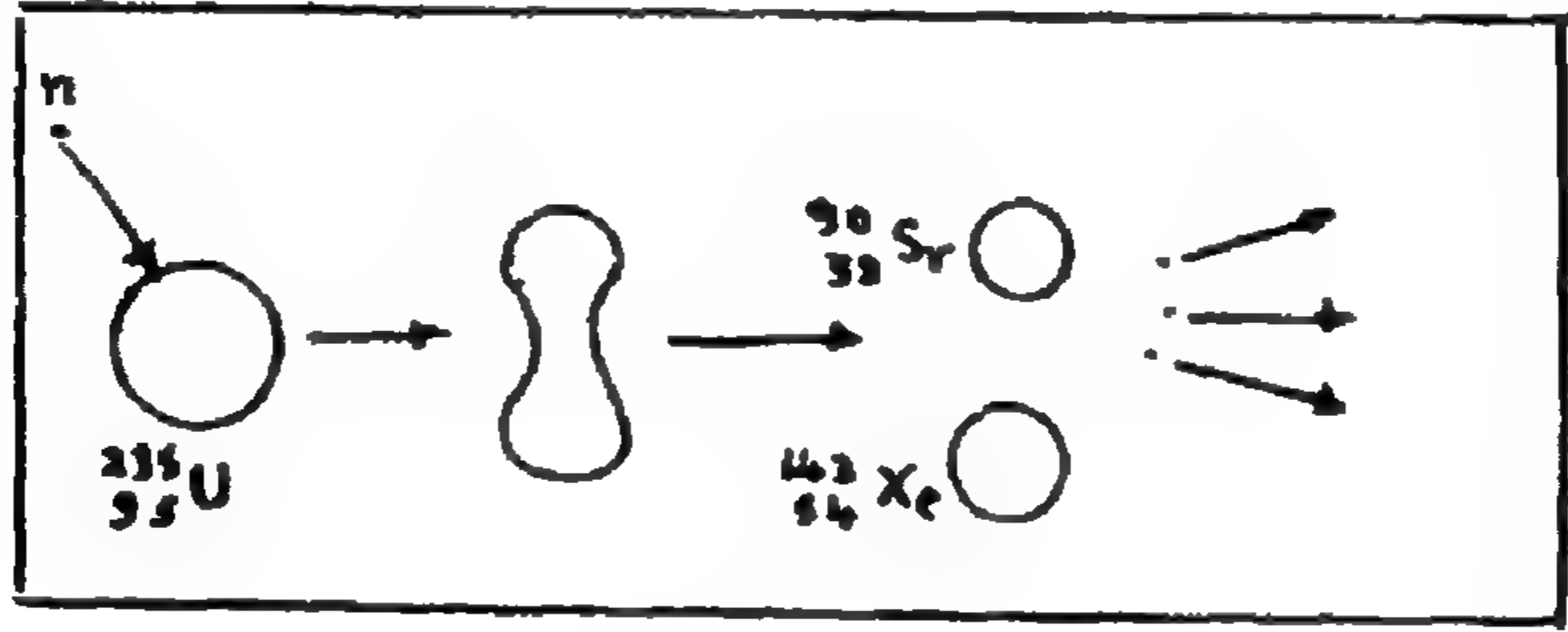
الانشطار النووي والاندماج النووي

الانشطار النووي: (Nuclear Fission)

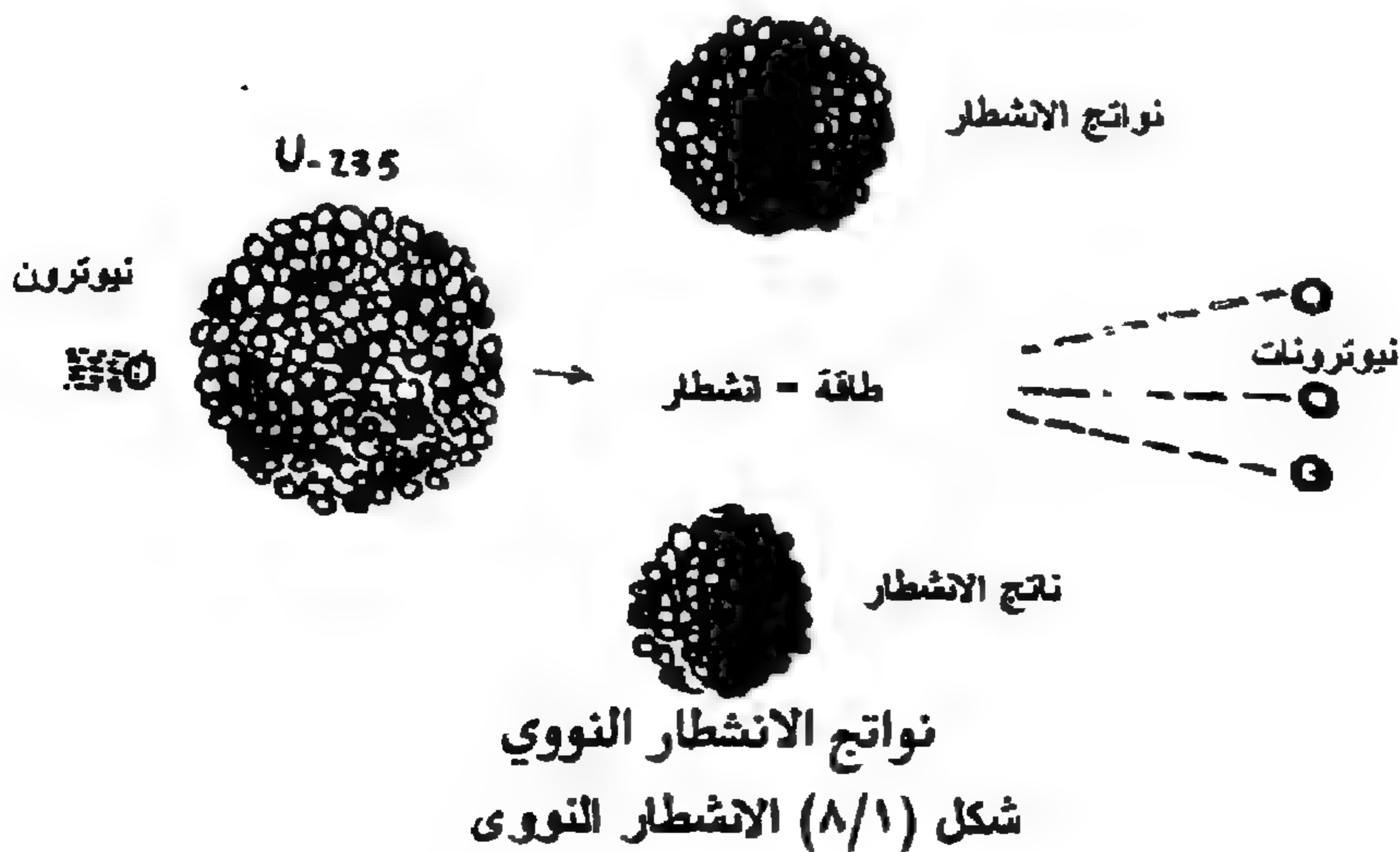
الانشطار النووي هو انشطار نواه ثقيلة (حيث الكتلة < 200) إلى نويات أصغر ذات كتلة متوسطة. كذلك يتكون في الانشطار واحد أو أكثر من النيوترونات. الانشطار يطلق كمية ضخمة من الطاقة. مصلا للانشطار النووي هي التفتيت لـ $U - 235$.



هذا الانشطار يتم تنفيذه بقذف نويات $U - 235$ بالنيوترونات الحرارية. النيوترونات الحرارية هي نيوترونات بطيئة، حيث سرعتها تقارن لتلك الجزيئات للغاز عند درجة حرارة الغرفة وهي تسمى (Thermal Neutrons). الانشطار النووية يرمز له في الشكل (٨/١) حيث الشكل (أ) يشرح عملية الانشطار المبينة على نموذج نقطة السائل للنواه.



انشطار نووي



أ – خصائص الانشطار النووي: (Characteristics Of Nuclear Fission)

الانشطار النووي هو عملية منتجة للطاقة (Exoenergic) ، فهو يطلق كمية ضخمة من الطاقة. طاقة حرارية وطاقة حركية وضوء.

قوة الرباط للنوكليون (البروتون أو النيوترون) لليورانيوم 235- أقل من مجموع طاقات الربط لـ $Xe - 143$, $Sr - 90$.

هذا يقتضي حتما انطلاق طاقة. مقدار طاقة الانشطار يمكن حسابه من طاقات الرباط.

النواة	طاقة الرباط (10^{-10} Joules)
U-235	2.82
Sr-90	1.23
Xe-143	1.92

طاقات الرباط للنواتج $= 1.23 + 1.92 = 3.15 \times 10^{-10}$ جول

طاقات الرباط لمواد التفاعل $= 2.82 \times 10^{-10}$ جول

∴ الفرق في طاقات الرباط $= 3.3 \times 10^{-10}$ جول

لذلك فإن طاقة 3.3×10^{-11} تنطلق عند انشطار نواة يورانيوم واحدة

بالنسبة لجزئ واحد من اليورانيوم، الطاقة المنطلقة هي $(3.3 \times 10^{-11}$ جول) × ثابت

أفوجادرو $= (3.3 \times 10^{12})$ جول

(ثابت أفوجادرو هو وحدة كمية تساوي 6.0225×10^{23} من الذرات أو الجزيئات أو

سواها).

هذه العملية عالية الإنتاج للطاقة، في الحقيقة، فهي أكبر بكثير عن الطاقة المنطلقة

عند احتراق طن من الفحم (8×10^7 J) – لذلك فإن الانشطار النووي هو مصدر الطاقة كبيرة.

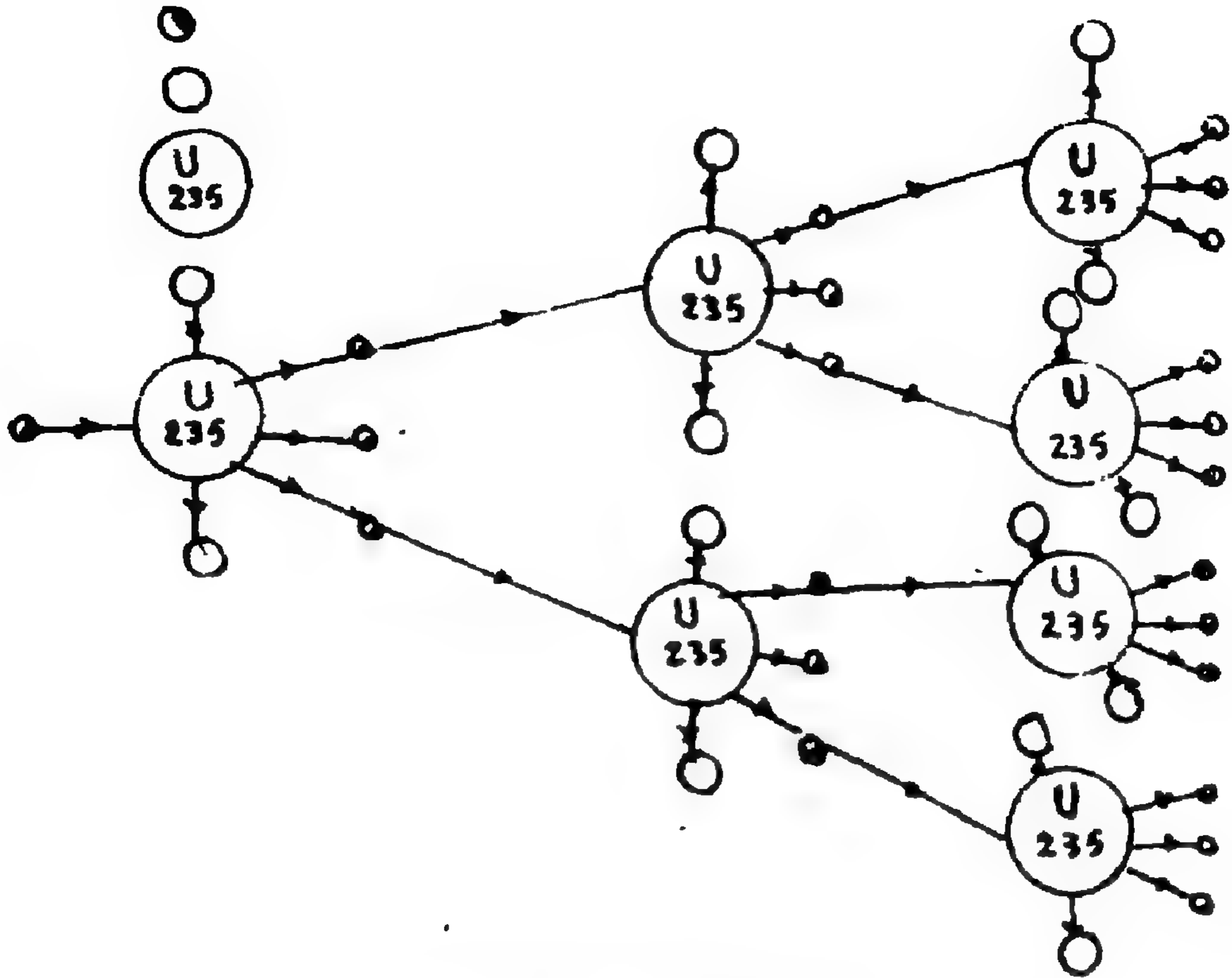
ب – انشطار اليورانيوم 235- هو تفاعل متسلسل. عند قذف نواة واحدة من

اليورانيوم بالنيوترون ، فإنه يتكون ثلاث نيوترونات. الثلاث نيوترونات هذه تقوم بالتالي

بانشطار ثلاث نويات أخرى من اليورانيوم، منتجة تسعة نيوترونات وهكذا. لذلك فإنه

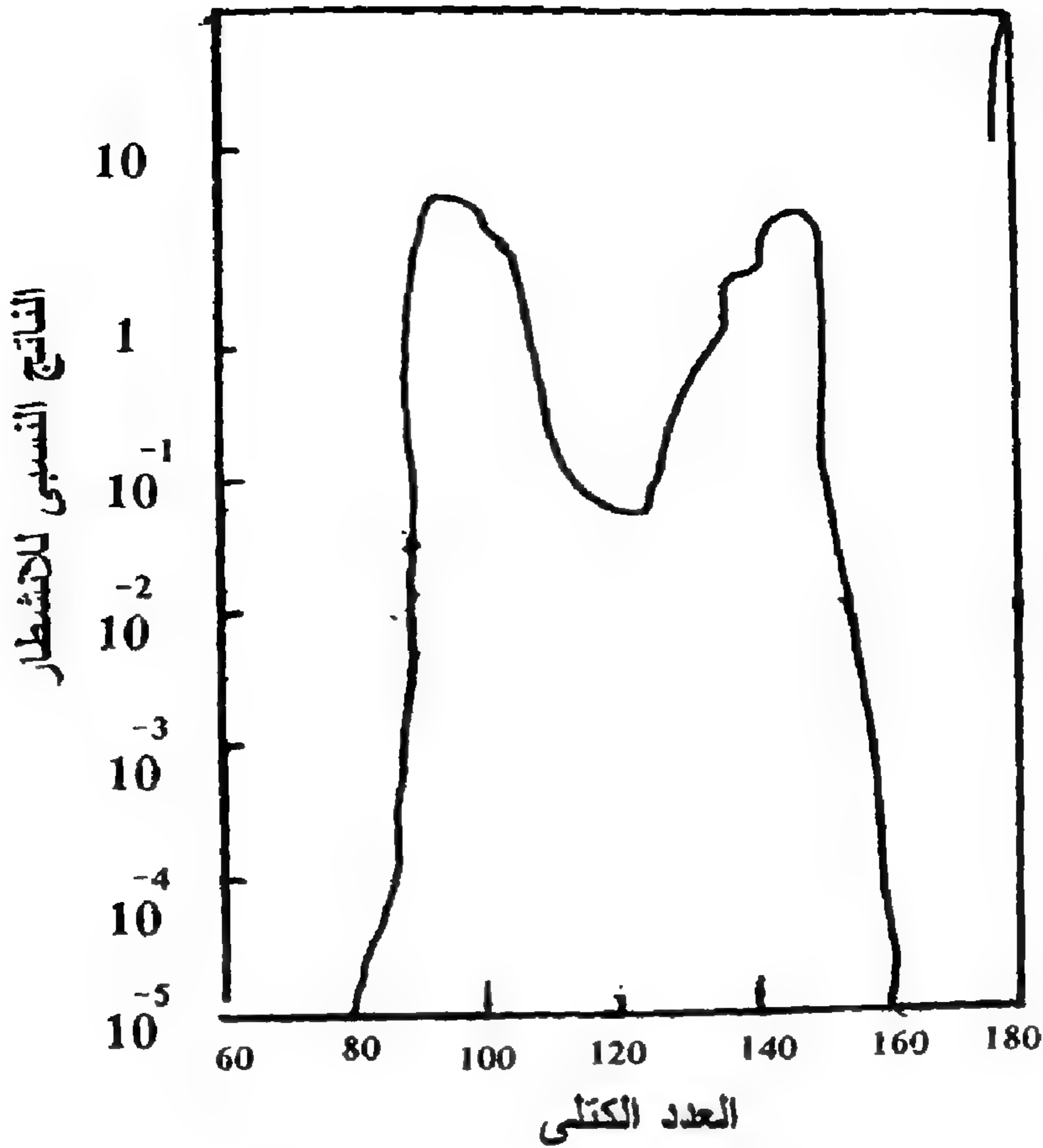
بمجرد بداية الانشطار، فإنه سوف يستمر بذاته. الانشطار بذلك يكون ذاتي الاستمرار.

هذا التفاعل المتسلسل يجعل الانشطار محدثا للانفجار، مع انطلاق كمية ضخمة من الطاقات الحركية والحرارية في المجال المحيط.



شكل (٨/٢) التفاعل المتسلسل

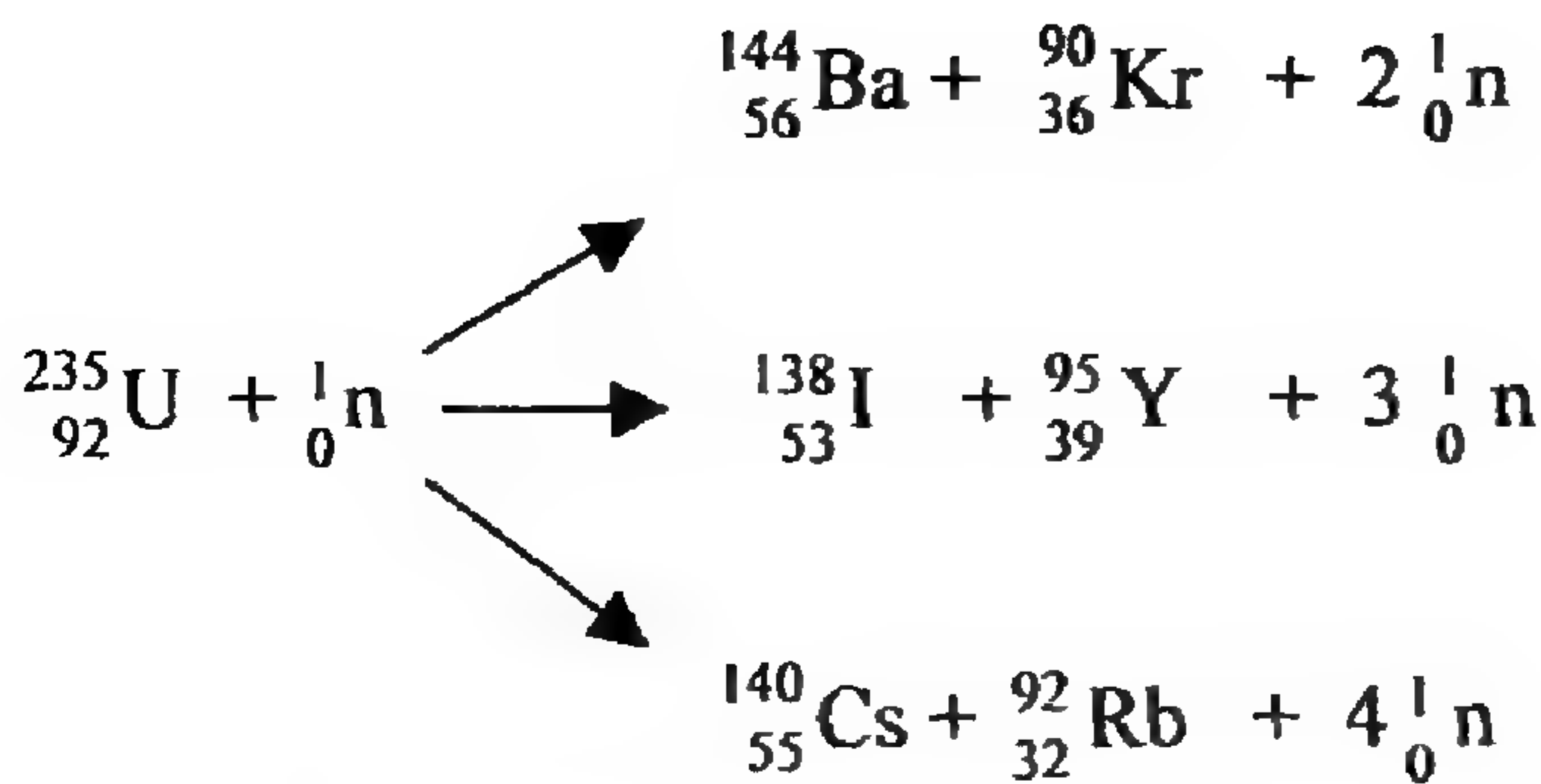
ج - المنتجات التي تكونت من الانشطار هي خليط معقد. المعادلة الخاصة بالانشطار تبين فقط المنتجين اللذان يتكونا في نسبة كبيرة. بالإضافة إلى تلك النويتين، فقد تم التعرف على حوالي 160 نظير لحوالي 40 عنصر ناتج الانشطار. كثيرا من تلك النواتج تكون ذات خاصية إشعاعية ولذلك تشكل خطورة عند تداولها. النواتج المتكونة بكميات مختلفة، بعضها بكميات كبيرة وبعضها بكميات صغيرة. هذه الحقيقة موضحة في المخطط الذي يسمى منحنى ناتج الانشطار (fission Tiled Curre)، وهو بتوقيع النواتج النسبية للمنتجات مقابل عددها الكتلي شكل (٨/٣).



شكل (٨/٣) منحنى ناتج الانشطار

د - الانشطار يكون متسلسلا بطبيعته فقط في حالة وجود اليورانيوم ($U-235$) الكافي في العينة لاقتناص كل النيوترونات المتكونة. بخلاف ذلك، فإن النيوترونات سوف تهرب من العينة وتوقف حدوث عملية التسلسل. أدنى كتلة مطلوبة من اليورانيوم 235 للاستمرار الذاتي للانشطار المتسلسل تسمى الكتلة الحرجة (Critical Mass). إذا كانت كتلة اليورانيوم 235 حرجة أو أكبر من الحرجة، عندئذ فإن معظم النيوترونات المتولدة سيتم اقتناصها بواسطة $U-235$ بما يحقق استمرار التفاعل المتسلسل.

هـ - من الممكن إنتاج منتجات أولية مختلفة بمختلف أنواع الانشطار لنفس النواة $U-235$. كيفية الانشطار للنواة تعتمد على الطاقة التي تكتسبها النواة الانشطارية. بخلاف النوع السابق ذكره توجد ثلاث تفاعلات انشطارية عامة معروفة.



المنتجات الرئيسيين لهم كتلة مختلفة في كل حالة. مثل هذا الانشطار يسمى الانشطار الغير متماثل (asymmetric Fission). التفاعل المتماثل الذي يعطى اثنين من المنتج الوليد (Daughters) للنوية بتنس القدر من الكتلة تقريبا يكون نادرا.

المفاعلات النووية: (Nuclear Reactors).

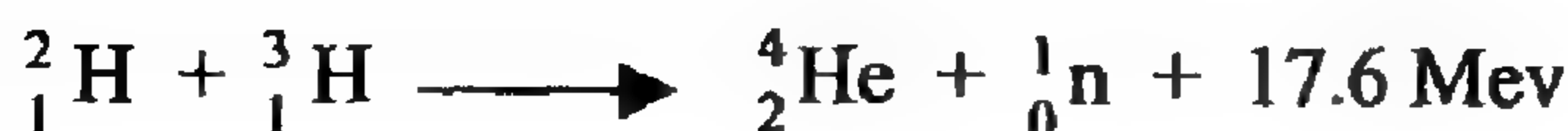
المفاعل النووي هو تجهيز يستخدم لتنفيذ التحكم في الانشطار النووي.

أول مفاعل نووى فى العالم.

إن اكتشاف الانشطار لذرات اليورانيوم بالنيوترونات فى عام ١٩٣٩ كان بداية التطوير نحو تطوير الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء باستخدام المفاعلات النووية. أول مفاعل نووى فى العالم التى تم بناؤه وتشغيله سرا فى عام ١٩٤٢ فى شيكاغو. طاقم من العلماء برئاسة (Fermi) هو الذى قام بهذا الإنجاز. وكان هذا من أهم الاختراعات فى القرن العشرين. الانشطار النووي نفسه تم أول استخدام له فى برلين فى عام ١٩٣٨ بواسطة (Otto Habn). وقد اقترح تسمية الانشطار النووي لعملية انشطار U-235 إلى جسيمات صغيرة.

٢ - الاندماج النووى: (Nuclear Fusion):

تفاعل النظائر لعدد اثنين من النويات الصغيرة لتكوين نواه أثقل ومستقرة يسمى الاندماج النووى. فمثلاً، نويات الديتيريوم والتريتيوم يمكن اندماجهما لإنتاج نواة الهيليوم.



خواص الاندماج النووي:

أ - عند جمع نويتين معا لاندماجهما، فإنه يحدث تنافر كولومبي ضخم جدا (حاجز الجهد Potential Barrier). هذا التنافر أو حاجز الجهد يمكن التغلب عليه فقط عند درجة حرارة عالية، في حدود الملايين من درجات الحرارة. لذلك، فإن تفاعلات الاندماج يمكن أن تحدث فقط عند درجات حرارة عالية جدا. لهذا السبب فإن هذه التفاعلات تسمى التفاعلات النووية الحرارية.

ب - تفاعل الاندماج هو تفاعل عالي الإنتاج الحراري، فهو يطلق كمية مهولة من الطاقة نتيجة تحول الكتلة إلى طاقة.

ج - الاندماج النووي يمكن فقط بالنويات الخفيفة. في حالة النويات الثقيلة فإن الحاجز ذو الطاقة العالية للتفاعل لا يمكن مقاومته. هذا بالإضافة إلى أنه لا يمكن تكوين منتج مستقر باندماج النويات الضخمة.

د - مشاكل تنفيذ الاندماج النووي:

إنتاج درجة الحرارة المرتفعة جدا والمطلوبة للاندماج في العمل شديد الصعوبة وعالي التكلفة.

حتى في حالة إمكان إنتاج درجة الحرارة هذه، فإنه لا يوجد وعاء تفاعل يمكن أن يتحمل درجة الحرارة المصاحبة العالية هذه. حيز (Holding) البلازما في الفضاء (Space) بواسطة مجالات مغناطيسية لإحداث الاندماج جاري تجربته. لذلك فإن الاندماج النووي الناجح لم يتم تنفيذه في أي معمل تجريبي.

٣ - طاقة النجوم: Stellar Energy

تنتج النجوم كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والضوئية. الاندماجات النووية هي مصدر هذه الطاقات. سطح النجوم شديد السخونة. فمثلاً، درجة حرارة الشمس هي حوالي ١٥ مليون درجة كيلفن. درجة الحرارة هذه كافية للاندماج النووي. دورة تفاعلات الاندماج النووي يقترح أنها تشرح إنتاج الطاقة الشمسية. حصيلة التأثير لهذه الدورة هي الانصهار لأربع من البروتونات إلى جسيم ألفا واحد. في هذه الدورة ينبعث أثنين من البوزيترونات.

دورة الكربون - النيتروجين:

لقد اقترح (H. Beth) تسلسل التفاعلات لشرح أصل الطاقة الشمسية. هذا التفاعل المتتالي يسمى دورة الكربون - النيتروجين.



التفاعل الكلى هو:



التفاعل الكلى للإنتاج ينتج طاقة كافية لقدرة وطاقة النظام الشمسى.

سلسلة بروتون - بروتون Proton - Proton Chain

لقد افترض (E, Salpeter) تفاعل التسلسل للبروتون - البروتون المسبب للطاقة الشمسية.



هذه النظرية بالنسبة لأصل طاقة النجوم يتم تضخيمها بوجود كميات كبيرة من الهيدروجين والهيليوم فى الشمس.

طاقة الاندماج (Fusion Power)

تفاعلات الاندماج يمكن أن تفيد كمصدر للطاقة وإنتاج الكهرباء إذا أمكن تنفيذها فى مفاعل وأحكامها.

الديتيروم الموجود فى الطبيعة يمكن استخدامه فى هذا المفاعل



اندماج الليثيوم مع البروتون هو تفاعل اندماج واعد لإنتاج الطاقة.



فى مفاعل إنتاج الطاقة بالاندماج الذى تحت التجربة، ينتج اندماج الديتيروم – التريتيوم نيوترونات عالية الطاقة. طاقة النيوترون هذه يمكن أن تمتص بواسطة غلاف من الليثيوم. الليثيوم الساخن يمكن عندئذ أن يتبادل حرارته مع الماء ويولد البخار. حاليا يتم العديد من الأبحاث لبناء مفاعل الاندماج النووى فى الولايات المتحدة وروسيا. مفاعل الاندماج الموضح بالمعادلة التالية هو مصدر لإنتاج الطاقة.



الفصل التاسع

استخدام العلوم النووية

استخدام إشعاع جاما واستخدام النظائر:

أن تفهم طبيعة نواه الذرة خلال النصف الأول من القرن العشرين قد أدى إلى استخدامات مفيدة ومتعددة للعلوم النووية. تلك الاستخدامات هي من نوعين: وهما استخدام إشعاع جاما واستخدام النظائر:

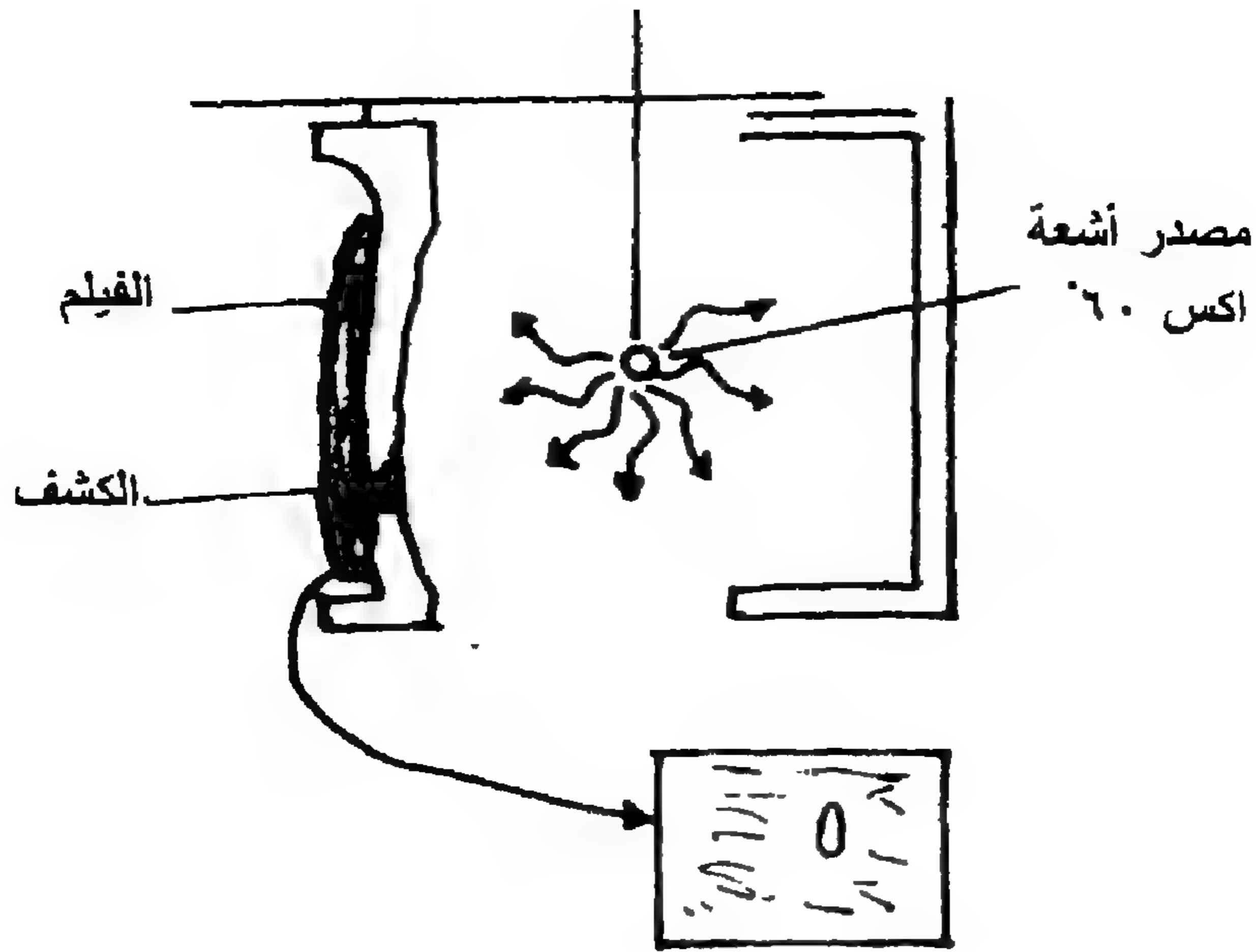
١- استخدام إشعاع جاما:

الحاصلات الزراعية مثل الحبوب، الخضروات والفاكهة.. الخ يحدث لها تلف بفعل الحشرات والكائنات الضارة (Pests) والميكروبات والخمائر.. الخ وذلك أثناء تخزينها. عند تسليط إشعاع جاما على تلك الحاصلات فإنها تقتل تلك الكائنات وبالتالي فإن فترة التخزين لها تزداد. فمثلاً، الدجاج له ثلاث أيام للحفظ على الرف بعد التبريد، ولكن هذه الفترة تزداد إلى ثلاثة أسابيع بالإشعاع. الحاصلات الزراعية الجذرية مثل البصل التي تم إشعاعها بأشعة جاما لا تتلف لمدة طويلة.

الإشعاع يدمر كليه طفيليات لحم الخنزير ويزيد من فترة حفظه. الإشعاع يؤخر ويعيق نمو الكائنات في مواد الغذاء، تعقيم المواد بالإشعاع أفضل من حفظ المواد الغذائية بالكيماويات ذلك لأن الكيماويات المستخدمة ثبت أنها ضارة.

أ- اختيار المسبوكات المعدنية:

تكون أى عيب مثل التشققات الشعرية أو الفجوات داخل المعدن المسبوك يمكن تأكيده باستخدام أشعة جاما. أشعة جاما من مصدر الكوبالت ^{60}Co يتم مرورها خلال المعدن المسبوك. يتم وضع لوح فوتوغرافي على الجانب الآخر للمسبوك. تحميض اللوح الفوتوغرافي يظهر وجود ومكان وشكل العيب (شكل ١ / ٩). هذه التقنية تسمى التصوير بالأشعة (Radiography).



فيلم محمض يوضح العيب - الفراغ

شكل (٩/١) التصوير بالأشعة

وجود عيوب في مكونات الطائرة، والتي قد تؤدي إلى وقوع حوادث وتعرض حياة المسافرين للخطر يتم الكشف الروتيني عنها باستخدام التصوير بأشعة جاما.

ب - مقاومة الكائنات (الحشرية) الضارة بالتعرض للإشعاع:

Pest Control By Irradiation

عند تعريض الكائنات الحية الصغيرة إلى الإشعاع المنخفض لأشعة جاما فإنه يجعلها عقيمة ومطهرة (Sterile). عدد كبير جدا من ذكور تلك الكائنات تم توليدها في العمل وتحویلها إلى حالة العقم بإشعاعها. ذكر الحشرة العقيم يتزاوج مع الأنثى المحلية الحشرية ولكن لا يتم إنتاج نسل أو ذرية. هذا يقلل من عدد الحشرات هذه التقنية استخدمت أولاً في فيينا منذ أربعين عاماً. قد يبدو أنها مكلفة لطريقة المقاومة الحشرات ولكنها ليست كذلك. هذه التقنية النووية قد ساعدت الولايات المتحدة في التخلص من الدودة الحلزونية (Screw Worm)، كما ساعدت أمريكا اللاتينية في التخلص من ذبابة الفاكهة، وساعدت زنجبار في التخلص من ذبابة تسي تسي. تقنية العقم للحشرة لا تسبب تلوث للبيئة كما هو الحال عند استخدام المبيدات الكيماوية.

ج - تقنية الإقتفاء والتتبع (Tracer Technique)

تقنية الاقتفاء للأثر وتتبعه هي الطريقة التي يستخدم فيها نظير العنصر لدراسة التغير الطبيعي أو الكيميائي. التغير يتم رصده بتتبع الصفات الخاصة - الكتلة أو الإشعاعية - للنظير المستخدم. لتفهم هذه التقنية يلاحظ التفاعل الآتي:



حيث $B-A$: جزئ يعطى منتج غازي B_2
أولا النظير العادي لـ B في $B-A$ يتم استبداله بنظيره المشع.
عندئذ يتم تمثيل المعادلة بالآتي:



مع تقدم هذا التفاعل فإن إشعاعية مواد التفاعل $A - B$ سوف تقل بسبب فقد B في شكل غاز B_2 . لذلك فإن معدل هذا التفاعل يمكن تعيينه بقياس معدل الفقد للإشعاعية لمواد التفاعل (Reactant). هذه التقنية هي تقنية الاقتفاء والتتبع.
يقال إن العنصر (B) متتبع أو مقتفى نظيري (Tagged). فهو يسمى عنصر الاقتفاء والتتبع (Tracer Element). وهو يعمل كمقتفى نظيري (Tag) للتعرف على التغير في النظام.

طريقة التتبع يمكن استخدامها في العديد من الأبحاث والدراسات.

١- العمليات الطبيعية مثل التبخير، التكثيف، الإذابة، حركة الغازات والسوائل.. الخ.

٢- العمليات الكيميائية خاصة آليات التفاعل (Reaction Mechanisms).

٣- المباحث الإنسانية.

٤- تحركات التفاعلات (Kinetics Of Reactions)

٥- العمليات البيولوجية في النباتات.

٦- تشخيص الأمراض.

عند استخدام نظير ثقيل غير مشع للتتبع، عندئذ يتم رصد كتلته في تقنية التتبع. استخدام المقتفى المشع يفضل في تقنيات الاقتفاء والتتبع ذلك لأنه يمكن قياس إشعاعيته

بدقة أثناء العملية الطبيعية أو الكيميائية. نظائر التتبع المقتفية المستخدمة عادة موضحة في الجدول.

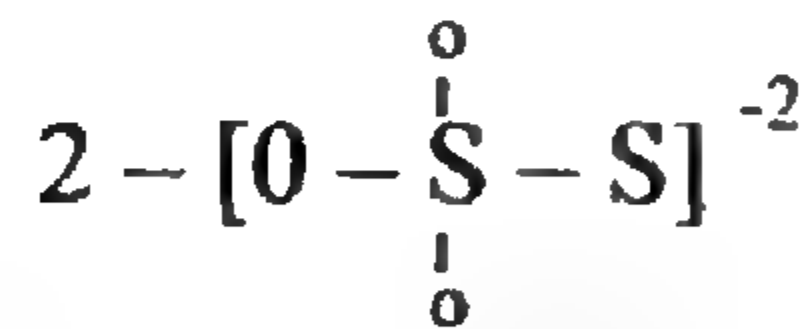
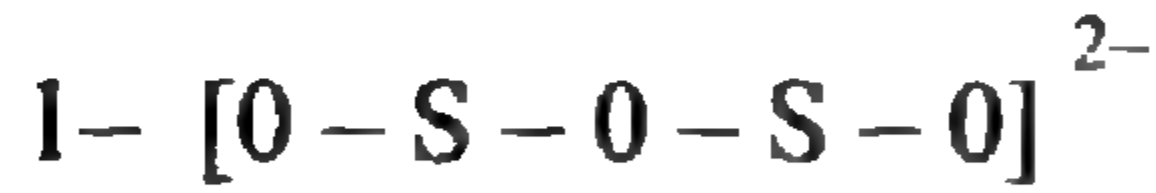
جدول (٩/١) نظائر التتبع العادية:

الكشف	المقتف النظيري Tag	عنصر التتبع
الكتلة	^2H	هيدروجين
حسيمات - بيتا (B)	^3H	
الكتلة	^{18}O	أكسجين
الكتلة	^{13}C	الكربون
حسيمات - B	^{14}C	
الكتلة	^{15}N	نيتروجين
حسيمات - B	^{24}Na	الصوديوم
حسيمات - B	^{32}P	الفسفور
حسيمات - B	^{131}I	اليود

د - دراسة تركيبية: (Structral Study)

أيون الثيوسلفيت (Thiosulphate Ion) ، $\text{S}_2 \text{O}_3^{-2}$

يمكن تمثيله بواحد من التركيبات الآتية:



فى التركيب رقم (٢) تكون ذرتى الكبريت (S) مختلفتى الارتباط (غير متكافئة -

Equivalent-Non) على عكس فى حالة التركيب رقم (١). الاختيار بين الاثنين

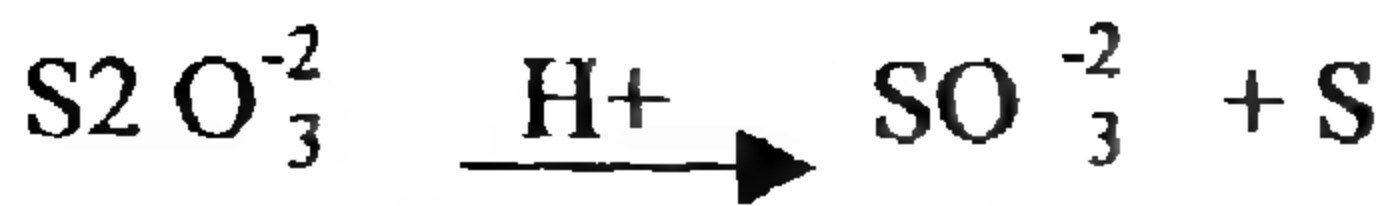
يمكن إقراره باستخدام النظير.

أيون الثيوسلفيت يتم تحضيره بغلى أيون السلفيد (Sulphide) مع زهور الكبريت.



عند معالجة الثيو سلفيت الناتج بحامض مخفف فإنه يتحول ثانيا إلى عنصر الكبريت

والسلفيت (Sulphite)

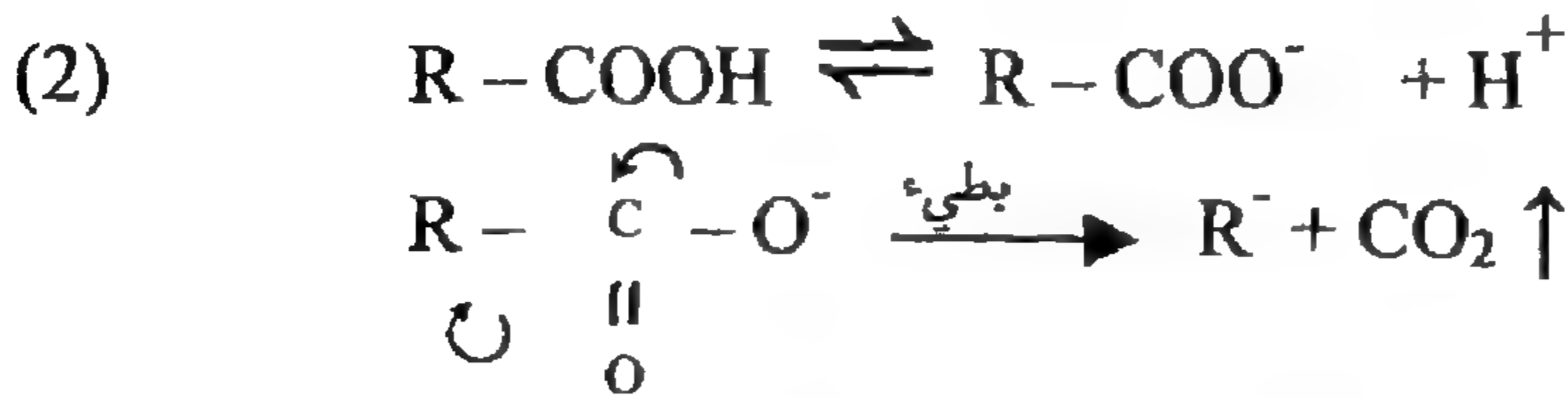
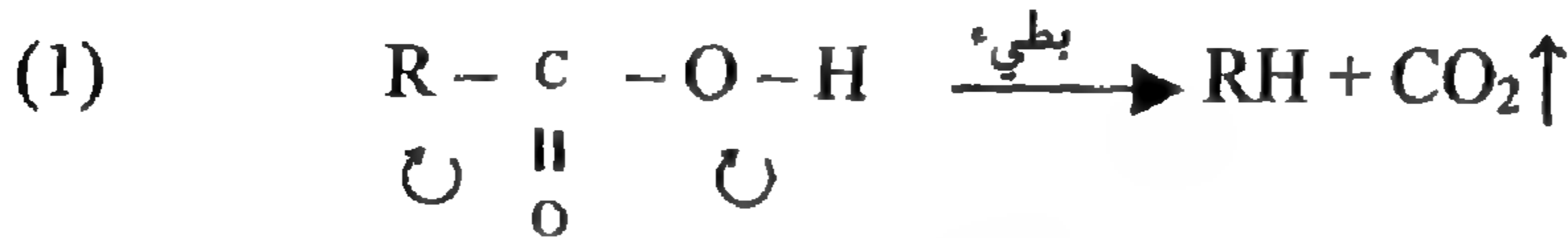


يتم تحضير $S_2 O_3^{-2}$ باستخدام النظير المشع S-35. ثم يتم تحليل $S_2 O_3^{-2}$ المرقمة التي تحوى جزئيات نظائرية مميزة (Labeled)، ويتم مراجعة SO_3^{-2} ، S. لا يلاحظ نشاط (S-35) في SO_3^{-2} ، كل S-35 يوجد في شكل عنصر الكبريت. إذا كانت الذرتين مرتبطتين بشكل متماثل، عندئذ فإن نشاط S-35 سيوجد في كل من SO_3^{-2} ، S. لذلك يكون من الواضح أن ذرتين S في $S_2 O_3^{-2}$ هما غير متكافئتين تركيبيا كما في التركيب رقم (٢).

تعيين وتتبع جزئ DNA (الحامض النووي الوراثي)، أى النظام التي تتصل به جزئيات الأحماض الأمينية هو من الأعمال الهامة في تفهم الكود الجيني. هذا التسلسل تم بوضع علامات مرقمة لوحدة الفوسفات لـ DNA بواسطة Allan Maxxam وآخرين.

هـ - دراسة آلية التفاعل: (Study Of Reaction Mechanism)

حامض الكربوكسيليك (Carboxylic Acid) يمكن أن تحدث له إزالة لشق الكربوكسيل (Decarboxylation) إما في شكله الأيوني نفسه أو من خلال أيون الكربوكسيل.



للحسم بين تلك الآليتين، فإنه يتم تعيين معدل النبات والاستقرار (Rate Constants) لإزالة الكربوكسيليك (Decarboxylation) لكل من Rood, Rood. إذا كان كلا من معدل الثبات والاستقرار لكليهما متشابه، عندئذ فإنه يمكن تقرير أن الآلية لإزالة الكربوكسيليك تحدث بواسطة الآلية رقم (٢) ذلك لأنه هنا الرباط -O - H - Q للجزئ الحر (-O - H) (RCOOH)، عندئذ، فإن استبدال H المجموعة COOH بواسطة D سوف يغير معدل الثبات.

و- دراسة الاتزان : (Study Of Equilibrium)

حدوث وطبيعة إتزان معين يمكن تحقيقه باستخدام المقتنيات النظائرية (Isotopic Tracers) . فمثلاً . عند إذابة مادة كحولية (ROH) فى (D₂O) ثم استعادتها، إذا حدث لبعض جزئيات (ROH) تبادل البروتون الهيدروكسيل مع ذرات D. فإن هذا يحقق الاتزان.



عند إذابة كلوريد الأمونيوم المرقم (Labeled) الذى يحوى نظائر جزئيات مميزة (NH₄CL¹⁵) فى سائل NH₃ تم الاستعادة بتبخير المذيب، فإن ¹⁵N يكون موزعاً بالتساوى بين كلوريد الأمونيوم وجزئيات NH₃. هذا ممكن فقط إذا تأين سائل NH₃.



فى محلول محتوى على C-14 المرقم (Labeled) CN⁻ و [Fe (CN)₆]³⁻، لا يحدث تبادل بين مجموعات CN⁻ المرقمة والغير مرقمة. هذا يبرهن على أن الستة مجموعات CN⁻ فى الأيون المعقد (Complex Ion) ليست غير مستقرة (Not Labile) أى أنها لا تتأين فى المحلول.

ز- دراسة التمثيل الضوئى (Study Of Photo Synthesis)

يمكن توضيح التمثيل الضوئى فى خلايا النبات بالآتى :



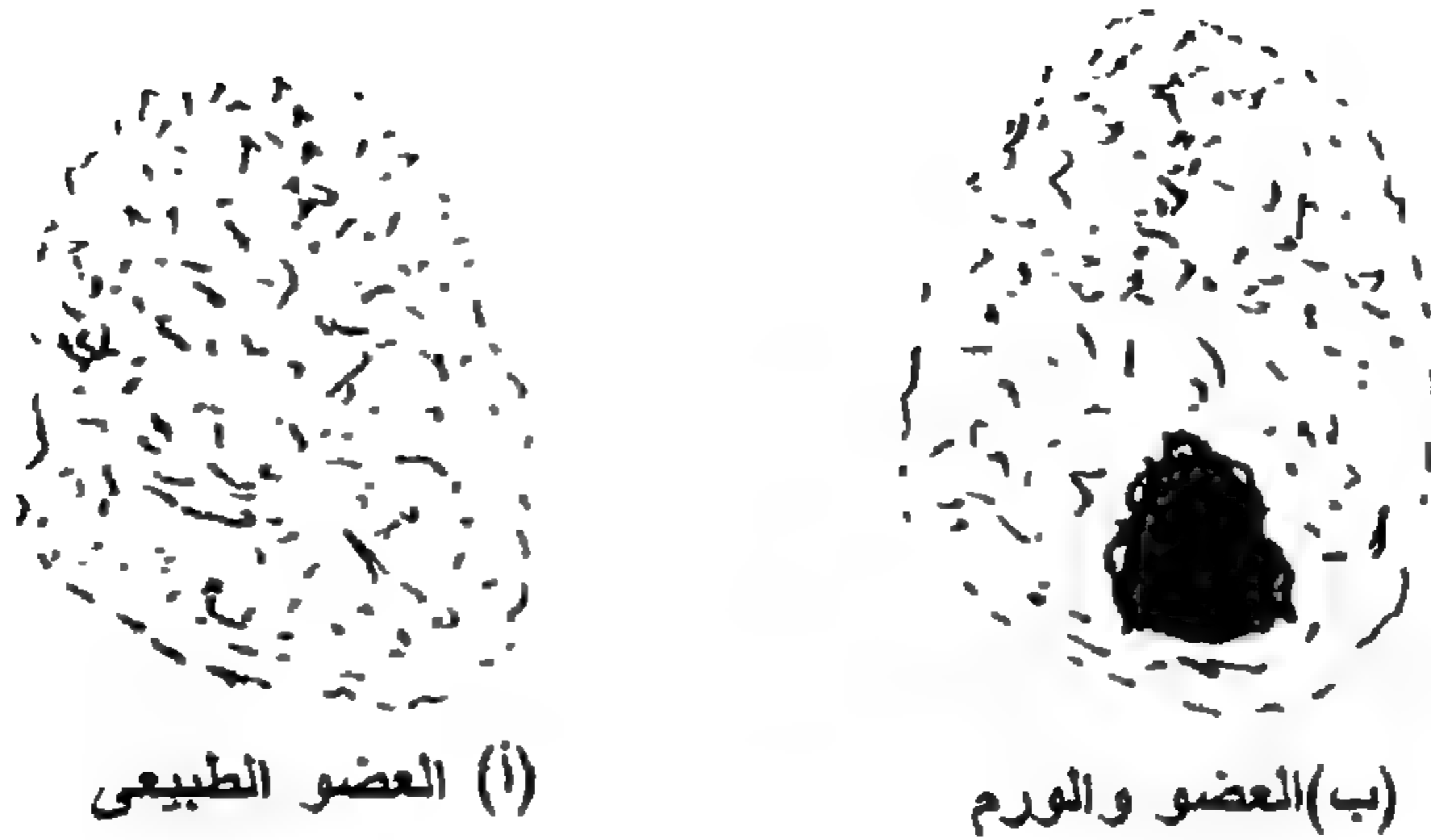
عندما كانت آلية التمثيل الضوئى غير مقيمة جداً، فإن أصل O₂ الناتج كان محل سؤال. حيث يمكن أن يأتى من CO₂، H₂O أو من كليهما. هذا السؤال تم إقراره باستخدام (H₂¹⁸O). D₂ المتكون احتوى فقط ¹⁸O وليس ¹⁶O. وذلك أثبت أن O₂ جاء من جزئى الماء وليس من CO₂. دراسة النظرير أظهرت أنه خلال التخليق الضوئى تنشط ذرة الماء بواسطة الطاقة الضوئية.



٢- النظائر المشعة فى الطب : Radio Isotopes In Medecine

تستخدم النظائر المشعة فى التشخيص الطبى (Diagnosis) وفى العلاج جدول (٩/٢). التصوير هو من التقنيات الهامة فى تحديد مكان الاعتلال فى عضو جسم

الإنسان. فمثلاً، تشخيص المرض الخبيث فى المخ (Tumor) يتم بتصوير المخ للشبة مستقر ، القصير النشاط (Short - Lived) هذا النظير عند استخدامه كدواء لورم المريض، فإنه يتراكم على خلايا الورم شكل (٩/٢) ويبعث إشعاع جاما. هذه الإشعاعات المنبعثة من مكان الورم يتم رسمها من خارج الجسم باستخدام فيلم تصوير. تحميض الفيلم يبين التفاصيل حول الورم.

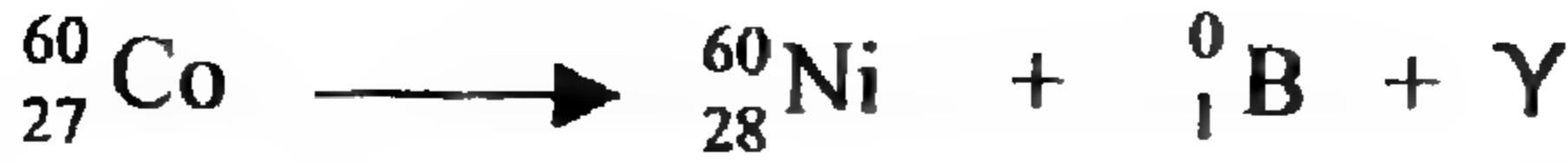


شكل (٩/٢) تصوير عضو بالنظير

جدول (٩/٢) النظائر المستخدمة فى الطب النووى:

النظير المشع	الاستخدام
I - 123	تشخيص الورم الدرقى (Thyroid Tumor)
TC - 99m	تصوير الأعضاء العليلة (الغدة، المخ، الكلى)
TI - 201	تشخيص عدم انتظام وظيفة القلب
P - 32	معالجة سرطان الدم
Na - 24	تشخيص أمراض نظام الدورة الدموية
Co - 60	علاج السرطان
Fe - 59	دراسة الأنيميا
Sr - 90	علاج سرطان القرنية

استخدام الكوبالت لعلاج أنواع معينة من السرطان مبني على قدرة أشعة جاما في تدمير الخلايا السرطانية. ^{60}Co يتحلل مع انبعاث جسيمات بيتا وإشعاعات جاما بنصف عمر 5.27 سنة.



جورج هافيزي الذي قام بالعمل الرائد في الطب النووي يعتبر أبو التقفى والتتبع الإشعاعي والطب النووي.

أ – التاريخ بالكربون المشع: (radio Carbon Dating)

التأريخ بالكربون المشع هو وسيلة لتقدير عمر المادة القديمة بقياس محتوى المادة القديمة من $^{14}_6\text{C}$ ومقارنة هذه القيمة مع $^{14}_6\text{C}$ الموجود في المادة الحية. الإشعاعات من النجوم، تسمى الإشعاعات الكونية، وهي تكوين بالجسيمات ذات الطاقة العالية مثل H^+ ، He^{+2} . تلك الجسيمات تصل إلى الغلاف الجوى للأرض وتتفاعل مع النويات المستقرة في الجزء العلوى من الغلاف الجوى. النيوترون هو واحد من نواتج مثل تلك التفاعلات النووية. النيوترون المنتج يتفاعل مع $^{14}_7\text{N}$ الموجود في الجو مكونا $^{14}_6\text{C}$.



$^{14}_6\text{C}$ له نشاط بيتا ونصف عمر 5730 سنة.

$^{14}_6\text{C}$ يتأكسد بالتدريج إلى $^{14}_6\text{CO}_2$ فى الجو ثم يمتص فى النباتات خلال التمثيل الضوئى. فهو يدخل إلى الحيوانات خلال السلسلة الغذائية. ثم يعود إلى الجو خلال تنفس الحيوانات.

هذه الدورة التى تشمل $^{14}_6\text{C}$ ظلت تحدث لآلاف السنين – يعتقد انه حدثت حالة إتزان فى الطبيعة بالنسبة لتركيز $^{14}_6\text{C}$ منذ عدة آلاف من السنين. هذا الاتزان شمل كمية ثابتة من $^{14}_6\text{C}$ لكل جرام من الكربون فى النظام الإحيائى. هذه الكمية تعادل ١٥,٣ من التحلل والتحطم فى الدقيقة لكل جرام من الكربون. تم الوصول إلى هذه القيمة بعد التقدير الجيد للكربون $^{14}_6\text{C}$ فى العديد من النظم الحية.

عندما يموت النبات، فإنه يتم إزالته من الاتزان الطبيعى، عندئذ سوف يقل المحتوى من $^{14}_6\text{C}$ فى المادة الميتة مع الوقت بسبب تحلله. هذا لا يمكن تعويضه نظر لأن

المادة الميتة لا تكون قادرة على التمثيل الضوئي. فمثلاً، قطعة من الخشب ماتت منذ ٢٠٠٠٠ عام سوف تحتوى الآن على ^{14}C أقل من قطعة خشب ماتت منذ ٥٠٠٠ عام. هذه الحقيقة استخدمت في تقدير عمر المواد القديمة.

التحلل للكربون-14 المشع ^{14}C يتبع المعادلة:

$$2.303 \log \frac{N_0}{N_t} = Kt$$

$$T = \frac{2.305}{K} \log \frac{N_0}{N_t} = Kt$$

حيث:

$N_0 = 15.3$ تحللات في الدقيقة لكل جرام من الكربون.

N_t = عدد التحللات في الدقيقة لكل جرام من الكربون في المادة الميتة.

$$K = \text{ثابت التحلل} = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.963}{5730 \gamma}$$

t = الزمن (عمر المادة القديمة بالسنين)

لذلك، لتعيين عمر المادة القديمة، فإنه يلزم تعيين محتواها الحال من ^{14}C ، N_t .

عندئذ العمر t يمكن تعيينه.

افتراضات تأريخ الكربون المشع Assumptions Of Radio Carbon Dating

هذه التقنية مبنية على التسليم بصحة الفرضيات الآتية:

* تدفق $^{14}_6\text{C}$ في المحيط الحيوى (Biosphere) يكون ثابتاً خلال الوقت.

المادة تحت الدراسة عندما كانت حية كان لها نفس النشاط مثل الكربون الحى الآن.

تآكل وتحلل ^{14}C في المادة القديمة ليس له علاقة بالبيئة الكيميائية الحالية.

تطبيقات التأريخ بالكربون المشع: Applications Of Radioactive Dating

التأريخ بالكربون المشع تم استخدامه لتعيين عمر المواد الأثرية والجيولوجية. بعض

من نتائج هذا التأريخ موضح فى الجدول التالى. الأعمار الموضحة فى الجدول قد تكون

غير دقيقة. ولكن هذه القيم تبين العمر الأقرب قرن.

جدول (٩/٣) عمر المواد القديمة الذي تم تعيينه بالكربون المشع

العمر بالسنين	المادة
2500	رواسب معينة في قاع المحيط
10050	هيكل عظمي من أحد القبور
2800	الفحم النباتي من أحد المعابد المصرية القديمة
2100	الخشب من سفينة رومانية
1940	لفيفة من الورق البردي في البحر الميت
500	هيكل عظام آدمية من معبد (Incan)

أعمار المواد القديمة التي تتراوح من ٥٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ سنة يمكن تعيينها بطريقة كافية بالتأريخ بالكربون المشع.

طريقة التأريخ بالكربون المشع تم اقتراحها بواسطة (Willar Frank) (1909-1980) وهو عالم كيمياء أمريكي. تم بعد ذلك التطبيق التجريبي لاقتراحه وتم تعيين أعمار المواد القديمة. وقد نال هذا العالم جائزة نوبل عام ١٩٦٠م عن هذا الاقتراح.

مثال:

عينة من الصخر تم الحصول عليها من سطح القمر وجد أنها تحتوى على ٨٢% Ar-٤٠، ١٨% K-٤٠، بالنسبة للكتلة. المطلوب تقدير عمر هذا الصخر علماً بأن K-٤٠ يتحلل إلى Ar-٤٠ عند $t_{1/2} = 1.210^9$ y

الحل:

ثابت التحلل للتغير النووى

$$K = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{1.2 \times 10^9 y} = 0.5775 \times 10^{-9} y^{-1}$$

$$K = \frac{2.303}{t} \log \frac{N_0}{N}$$

$$0.5775 \times 10^{-9} y = \frac{2.303}{t} \log \frac{100}{82}$$

$$= 3.4 \times 10^8 \text{ years}$$

∴ عمر الصخر = 3.4×10^8 سنة.

عمر الأرض : Age Of The Earth

سلسلة التحلل الطبيعي لليورانيوم تبين أن كل $^{238}_{92}\text{U}$ الموجود في الطبيعة سيتحول كلية إلى الرصاص. لذلك، فإن خام اليورانيوم الموجود طبيعياً يكون مصاحباً له رصاص غني مشع متكوناً من اليورانيوم. الصخور على الأرض يفترض أنها تكونت من الصخور المنصهرة (Magma). حيث في ذلك الحين يجب أن يكون تحلل اليورانيوم المشع قد بدأ. لذلك فإنه بتقدير نسبة Pb-206 إلى U-238 بالوزن، فإن عمر الصخر وبالتالي عمر الأرض يمكن تقديره. نصف العمر لليورانيوم $^{238}_{92}\text{U}$ هو $(4.49 \times 10^9 \text{ y})$ هذا النظير يكون $^{206}_{82}\text{Pb}$ خلال سلسلة من الخطوات والتفاعل الكلي هو:



طبقاً لتلك المعادلة، فإنه لكل 238 جرام من اليورانيوم الذي يتحلل، يجب وجود 206 جرام من الرصاص في عينة الصخر. إذا كانت عينة الصخر، بعد تكوينها مباشرة كانت تحتوى على واحد كيلو جرام من U-238، عندئذ بعد نصف عمر واحد $(4.49 \times 10^9 \text{ y})$ فإنها سوف تحتوى على $1/2$ كيلوجرام من U-238. كمية الرصاص التي يجب أن تكون قد وجدت من واحد كيلوجرام من U-238.

$$= \frac{1/2 \text{ كيلو جرام } \times 206}{238} = 0.43 \text{ كجرام}$$

لذلك، النسبة:

$$0.83 = \frac{0.43}{0.50} = \frac{\text{وزن Pb - 206}}{\text{وزن U - 238}} =$$

بفرض أن نسبة Pb-206 إلى U-238 في عينة الصخر الآن هي 0.86، فإن عمر الصخر سوف يكون 4.49×10^9 سنة. طبقاً للتحليل الواقعي للصخر من أماكن مختلفة في الأرض، هذه النسبة هي حوالى 0.86. ولذلك، فإن عمر الأرض هو 4.5×10^9 سنة. هذا العمر الافتراضي مبني على فرضية أن المادة الإشعاعية الأولية، النواة الثانية النهائية، وكل عناصر سلسلة التحلل تظل في الصخر وأن Pb-206 الموجود في الصخر الآن هو ناتج تحلل U-238.

مثال:

احسب عمر عينة من خام اليورانيوم التي تحتوى على 0.166 جرام من ^{206}Pb ، لكل جرام من ^{238}U .

الحل:

النتائج النهائية للتحلل هو ^{206}Pb من ^{238}U . لقد افترض أن كل ^{206}Pb ، قد جاء من تحلل ^{238}U . عندئذ فإن وزن اليورانيوم الذى تحول إلى 0.166 جرام من ^{206}Pb

$$= \frac{238}{206} \times 0.166\text{g}$$

$$= 0.192 \text{ جرام}$$

وزن ^{238}U الموجود أصلا كان

$$= (0.192 + 1.00) \text{ g}$$

$$= 1.192 \text{ جرام}$$

$$\therefore 1.192 \text{ جرام من } ^{238}\text{U} \text{ قد تحلل إلى واحد جرام من } ^{238}\text{U}$$
$$\frac{0.693}{t_{1/2}} = K$$

$$4.51 \times 10^9 = t_{1/2} \text{ سنة.}$$

$$1.5 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1} = \frac{0.693}{4.5 \times 10^9} = K$$

$$K = \frac{2.303}{t} \log \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

$$T = \frac{2.303}{K} \log \frac{[A]_0}{[A]_t}$$

$$= \frac{2.303}{1.5 \times 10^{-10}} \times 0.07627$$

$$= 1.14 \times 10^9 \text{ y}$$

\therefore عمر الخام هو 1.14×10^9 سنة.

مثال:

خام معدنى وجد أنه يحتوى على 1×10^{-6} سم³ من الهيليوم عند درجة الحرارة والضغط القياسى، 10^{-8} جرام من اليورانيوم فى كل جرام من هذا الخام. احسب عمر هذا الخام (الخام يرتبط بسلسلة اليورانيوم، وأن $t_{1/2}$ لليورانيوم - 238 هو 4.51×10^9 سنة).

الحل:

$$\text{عدد ذرات الهيليوم الموجودة} = \frac{6.023 \times 10^{23} \times 1 \times 10^{-6}}{22.40}$$

فى سلسلة اليورانيوم $(4n+2)$ ، تحلل U-238 يعطى أخيرا Pb-206. فى سلسلة تحلل كل U-238، فإنه تنبعث ثمانية جسيمات ألفا.

جسيمات ألفا تلك تصبح عندئذ ذرات هيليوم باقتناص الإليكترونات فإن عدد ذرات

U-238 التى تحللت (n)

$$\frac{\text{عدد ذرات الهيليوم}}{8} =$$

$$\frac{6.023 \times 10^{23} \times 10^{-6}}{22400 \times 8} =$$

$$3.361 \times 10^{12} =$$

عدد ذرات U-238 التى لم يحدث لها تحلل

$$\frac{6.023 \times 10^{23} \times 10^{-8}}{238} =$$

$$25.3 \times 10^{12} =$$

$$N = (N + n)^{e\lambda t}$$

$$\lambda = \text{ثابت التحلل لـ U-238}$$

$$\frac{0.693 + y^{-1}}{4.51 \times 10^9} =$$

$$t = \text{عمر الخام بالسنين}$$

$$t = \frac{2.303 \text{ Log } \frac{N+n}{N}}{\lambda}$$

$$= \frac{2.303 \times 4.51 \times 10^9}{0.693} \text{ Log } \left[\frac{28.66 \times 10^{12}}{25.30 \times 10^{12}} \right]$$

$$= 8.125 \times 10^8 \text{ year}$$

تأثير الإشعاع على المادة (Effect Of Radiation On Matter)

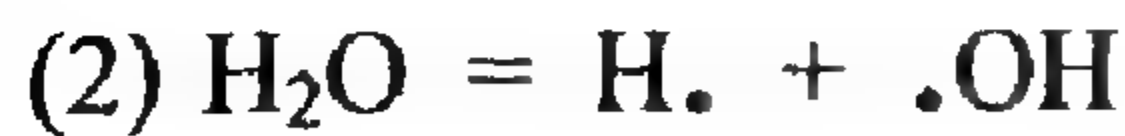
كل الأشعة ذات النشاط الإشعاعي الثلاث α ، B ، Y تتفاعل مع المادة. تلك الأشعة تزيل الإلكترونات من الذرات ومن الجزيئات الموجودة في المادة وتنتج أيونات. ولكن قوتها في التأين مختلفة. نظام قوة التأين هو كالاتي :

$$Y < B < \alpha$$

عند سقوط الإشعاع على مادة. فإنه يتكون زوج من الأيونات (Ion Pairs) كل يتكون من اليكترون وأيون موجب. عدد هذه الأزواج من الأيونات التي تتكون هو مقياس لقوة التأين للإشعاع. الإلكترونات المنتجة أولا بالتفاعل بين الإشعاع والمادة تسمى الإلكترونات الأولية. تلك الإلكترونات قد تتفاعل مع المادة وتنتج زيادة في التأين، أشعة Y (جاما) تنتج أقل عدد من الإلكترونات الأولية. ولكن نظرا لأن تلك الإلكترونات تنتج تأين تالي. فإن إجمالي التأين الناتج بهذه الأشعة يكون كبيراً.

التفاعل بين الإشعاع والمادة لا يتطلب دائما أحداث تأين. عندما تكون طاقة الإشعاع غير كافية للتأين. فإنها يمكن أن تثير الإلكترونات في المادة إلى المستويات الأعلى من الطاقة الذرية أو الطاقة الجزيئية. عندما تعود تلك الإلكترونات إلى حالتها الأصلية، فإن الإشعاع ينبعث من المادة. هذا الإشعاع يمكن أن يحدث في أشعة إكس، في منطقة الأشعة فوق بنفسجية أو الأشعة المرئية.

الإشعاعات. خاصة أشعة جاما، يمكن أن تحدث العديد من التفاعلات :



٣- الأضرار البيولوجية تسبب الإشعاع:

الإشعاعات النووية تؤثر على الخلايا فى النظم البيولوجية. كل الإشعاعات مهما كانت الجرعة منخفضة، تعتبر خطيرة، حتى إذا كان التأثير لا يمكن ملاحظته فى الإنسان السوي. هذا يسمى الفرضية الطولية للتلف بالإشعاع.

(Linear Hypothesis Of Radiation Damage) نظرية أخرى تفترض أن الجرعات ذات المستوى المنخفض من الإشعاعات حتى حد معين، ليس من المحتمل أن تكون ضارة للنظام البيولوجى. هذه النظرية تسمى عتبة الفرضية (Thre Shold Hypothesis).

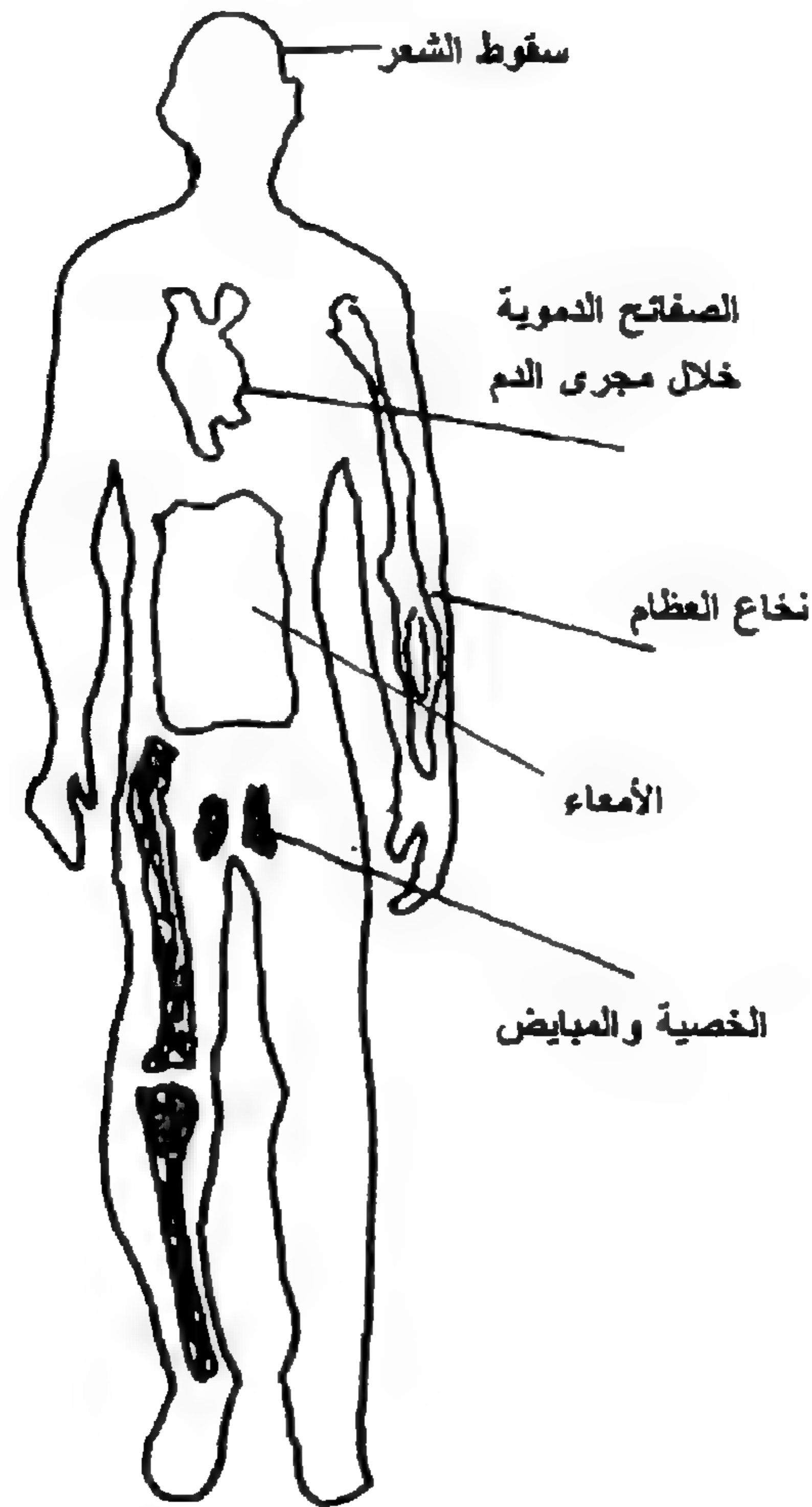
جرعات الإشعاع التى تستقبل للتشخيص والعلاج الطبى ومن التليفزيون أو من محطات الطاقة النووية تكون منخفضة وتأثيراتها يصعب قياسها. مثل هذه الإشعاعات يمكن أن يكون لها تأثير على المدى الطويل، حيث يشمل التأثير العيوب فى الجينات الوراثية. نفس الكمية التى تستقبل فى جرعة واحدة يمكن أن يكون لها تأثير مختلف كلية مقارنة بنفس الجرعة التى تم استقبالها خلال فترة، الأولى يمكن أن تكون أكثر ضررا عن الثانية. التلف الإشعاعى لجسم الإنسان يتوقف على الجرعة التى يستقبلها الجسم كما فى الجدول التالى.

جدول (٩/٣) تأثير الإشعاع على جسم الإنسان.

الجرعة ريم (Rems)	التأثير المتوقع
صفر - 10	لا تأثير واضح
10 - 25	تغيرات مؤقتة فى الدم
25 - 50	انخفاض فى كرات الدم الحمراء والبيضاء
100 - 200	القيء، سقوط الشعر
225	الوفاة خلال ٦٠ يوم لحوالى 5 % من الأشخاص المعرضين بدون رعاية صحية
400	الوفاة خلال ٦٠ يوم لحوالى 50 % من الأشخاص المعرضين بدون رعاية صحية

تأثيرات الإشعاع على جسم الإنسان هى من نوعين وهما التأثيرات الجسدية المتعلقة بجدار جسم الإنسان (SO MATIC) وتأثيرات وراثية (GENETIC). التأثيرات

الجسدية تكون للأشخاص الحقيقيين المعرضين للإشعاع. (الطفح الجلدي، السرطان هي أمثلة للتأثيرات الجسدية). التأثيرات الوراثية لا تؤثر فقط على الشخص المعرض للإشعاع ولكن كذلك على أبنائه وسلالته التالية. التأثيرات الوراثية للإشعاع تنتج من التلف الإشعاعي لخلايا الخصية (السائل المنوي - Sperm) أو المبيض (خلايا البويضة). الإشعاع يسبب تآين في الخلية، هذا يمكن أن يفتت جديلة الحامض النووي الريبى المنقوص الأكسجين (DNA Strand)، أو تغيير بنائه. الحامض المدمر هذا يصبح مضاعفا. هذا سوف يعطى رسائل جديدة للأجيال المتتالية، وهذا ما يسمى التغير في الخلايا الوراثية (Mutation Of Cells). مثل هذا التغير في الخلايا الوراثية يؤدي إلى حدوث اختلال جسدى وعقلى للمواليد. الخلايا سريعة الانقسام في الجسم هي تلك التي تكون أكثر تأثرا بالإشعاع. الخلايا في نخاع العظام وفي الدم، وخلايا الغدد التناسلية ع = هي تلك الأسرع في الانقسام



شكل (٩/٣) الأعضاء البشرية التي تأثرت بالإشعاع

النيوترونات تسبب أسوأ مشاكل الإشعاع للإنسان. جسم الإنسان يحتوى على نسبة عالية من الماء التى تمتص النيوترونات بكفاءة عالية.

٤ - التركيز البيولوجى للنظائر المشعة: Biological Concentration Of Isotopes

نظائر مشعة معينة تميل إلى تركيز نفسها فى أعضاء معينة فى جسم الإنسان. فمثلاً اليود - 131 (I-131) ينطلق فى الجو من اختيار الانفجار النووى. فهو ينطلق كذلك من محطات الطاقة النووية. هذا النظير يصل إلى السلسلة الغذائية، ولحوم وألبان الحيوانات التى تتغذى على النباتات. وهى تتركز فى الغدة الدرقية وتسبب مشاكل صحية للشخص المعرض.

الأساس الكيميائى للضرر الإشعاعى:

الإشعاعات α ، B، Y يمكن أن تؤين الجزيئات فى المادة. عند سقوط أى من هذه الإشعاعات على أنسجة الإنسان فإن الجزيئات فى تلك الأنسجة تتأين لتكوين الشق الحر (Free Radical). الجزيئات الفسيولوجية العضوية الهامة فى الجسم يحدث لها تدمير، حيث تفشل فى الأداء الطبيعى للخلايا وتسبب الأمراض. التفاعل بين جزيئات الماء فى الخلايا مع الإشعاع ينتج أيون عالى الأكسيد (Super Oxide Ion) (O_2^-). والشق الحر (Free Radical). هذه المواد عندئذ تهاجم أغشية الخلية والعديد من الجزيئات العضوية فى الخلية، مثل الأنزيمات والحامض النووى المنقوص الأكسجين (DNA).

العلاج الإشعاعى للسرطان يشمل كذلك تدمير الخلايا، الخلايا السرطانية بالإشعاع. الإشعاع الذى يتعرض له المريض يجب أن يكون كافياً لتدمير الخلايا السرطانية بدون تدمير الخلايا الطبيعية بشدة. الإشعاع المستخدم يجب ألا يسبب أى نوع من السرطان للمريض. فى العلاج بالإشعاع، يجب توجيه حزم من أشعة جاما إلى أقرب ما يمكن من النسيج السرطن فقط.

٥ - سمية النظائر المشعة:

سميه النظير على الإنسان تتوقف على طبيعه النشاط الإشعاعى ونصف العمر (أو النشاط النوعى) للنظير. البيان فى الجدول (٩/٤) يوضح النظائر السامة، الجدول (٩/٥) يوضح التأثيرات البيولوجية النسبية.

جدول (٩/٤) سمية النظائر:

السمية	المثال	طبيعة الأخطار الصحية
شديد السمية	Sr - 90	باحث العظام لمدة طويلة
عالي السمية	Ca - 45	باحث العظام
متوسط السمية	Na - 24	غير محدد
قليل السمية	C - 14	لا يسبب أي ضرر لأي عضو حساس

جدول (٩/٥) التأثيرات البيولوجية النسبية:

الإشعاع	التأثير البيولوجي النسبي
أشعة إكس	1
جسيمات B-	1
النيوترونات الحرارية	2.5
جسيمات α ، البروتونات والنيوترونات السريعة	10
النويات الثقيلة	20

جدول (٩/٦) البيانات التقريبية عن المصادر الرئيسية لتوفير

الخامات المشعة في العالم هي كالتى:

الدولة	اليورانيوم	الثوريوم	م
أمريكا	820000	320000	١
كندا	468000	158000	٢
استراليا	323000	—	٣
البرازيل	18500	160000	٤
الهند	52000	320000	٥
كما يوجد اليورانيوم مختلطاً بخام الذهب في مناجم الذهب في بعض الدول الأفريقية وفي أماكن أخرى من العالم لم يُكتشف أو اكتُشف ولكن بكميات صغيرة			٦

الباب الثاني

تطبيقات العلوم النووية

الفصل العاشر

الوقود النووي

١- مقدمة:

قلب المفاعل النووي الذي يسمى اللب (Core) هو المنطقة التي تحتوى على الوقود النووي. خرج الطاقة من الفاعل وكذلك درجة الكفاءة التي يتم بها إنتاج الطاقة ونقلها إلى المبرد تتوقف إلى حد كبير على مكونات الوقود المستخدم في المفاعل، وشكله الأساسي، والطريقة الهندسية لتوزيع الوقود خلال لب المفاعل، وكمية الوقود المستخدم ونوع مادة التغطية المستخدمة لتغطية الوقود.

الوقود النووي المكون من مادة انشطارية مثل U-235 أو من PU-239 أو U-233. عناصر الوقود المحتوية على مجموع من هذه المواد الانشطارية يكون مرغوبا فيه ويمكن عمله. المادة الانشطارية الوحيدة التي توجد في الطبيعة هي U-235، U-233 يتم إنتاجه صناعيا بالإشعاع النيوتروني للثوريوم (Thorium). البلوتونيوم (Plutonium) يتم كذلك تحضيره صناعيا بإشعاع اليورانيوم U-238 الموجود في الطبيعة بالنيوترونات المتطلبات الأساسية للوقود النووي الجيد للاستخدام في مفاعل الطاقة النووي هي:

- ألا يكون عالي التكلفة.
- القدرة على مقاومة التدرج في درجات الحرارة من مركز المفاعل إلى المحيط.
- يجب أن يتحمل الدورات الحرارية المتكررة أثناء توقف المفاعل وأثناء التشغيل.
- أن يقاوم التلف بفعل الإشعاع.
- أن يكون مقاوما لعدوانية التآكل بفعل مادة التبريد (Coolant)
- أن يقاوم آلية النقل خلال المفاعل.
- أن يكون خاليا إلى حد ما من الملوثات ذات (Cross-Sectioned) عالي (وتحديدا في المفاعلات الحرارية).
- يجب أن ينقل الحرارة المنتجة بدون أن يكون هو المبرد.

- أن يكون من الممكن استعادة وضعه بطريقة بسيطة وفصل نواتج الانشطار. الوقود الذي يحقق كل تلك المتطلبات السابق ذكرها ليس من السهل تصنيعه. أنواع الوقود النووي سيتم وصفها باختصار كالآتي :

١- اليورانيوم (Uranium)

اليورانيوم الطبيعي يحتوى على U-238 بنسبة % 99.3 ، يحتوى على النظير U-235 بنسبة % 0.7. يوجد اليورانيوم في أنواع كثيرة من الخامات المعدنية ولكن أعلى كمية من اليورانيوم تكون في خام يسمى بتشبلند (Pitch blende) أى معدن اليورانينيت الحاوي لليورانيوم والراديوم، يليه الكارنوتايت (Carnotite) ثم الريسكولايت (Rescolite). استخراج اليورانيوم من الخام يتم باستخدام طرق كيماوية ذلك أن الطرق الطبيعية المفيدة غير قابلة للاستخدام في خامات اليورانيوم. تتكون الطريقة الكيميائية من عمل غسيل (Leaching) يلي ذلك تنقية محلول الغسيل. الطريقة المستخدمة عادة هي الطحن يليه الغسيل في حامض الكبريتيك، ثم التنقية بعملية تبادل أيونى وترسيب بالأمونيا. الترشيح والتجفيف. في عمليات أخرى يستخدم الغسيل في كربونات الصوديوم والتنقية بعملية استخراج المذيب. المحتوى من اليورانيوم للتركيزات الناتجة عموما يكون مرتفعا (حوالي 70% - 80%). في أحد الطرق يتم طحن الخام، واختباره، وتحويله إلى درجة (Slurried) بإضافة كمية مناسبة من الماء ثم طحنه في مطحنة الكور (Ball Mill) قبل الإضافة إلى المذيب بالتقليب والتسخين (المجهز على التوالي) المحتوى على خليط من حامض النيتريك - حامض الكبريتيك. بعد المرور خلال وحدة الإذابة (Dissolver)، ثم التخلص من المواد الغير مذابة بالترشيح بالضغط (Filler Pressing). اليورانيوم الموجود في سائل الترشيح يكون في شكل يورانيل سلفيت (Uranyl Sulphata) بإضافة الأمونيا وفوق أكسيد الهيدروجي (Hydrogen Peroxide) بعد الترشيح والغسيل، يتم إعادة إذابة فوق أكسيد اليورانيوم في حامض النيتريك يلي ذلك تحويله إلى الكحول باستخلاصه على مراحل بمذيب. أساس هذه العملية هو أنه في الظروف المناسبة، فإن المركبات المعقدة من اليورانيوم سوف تمر من المحلول المائي إلى المجال العضوى المنفصل (مثل الكحول - Ether) بسرعة أكبر عن الملوثات. بعد فصل المجالين فإن اليورانيوم النقى يمكن غسيله لإزالة الكحول بالماء الزائد وترسيبه بواسطة الأمونيا في شكل (Uranium Diuranate).

الآن تم عمل الإذابة الأولية والترشيح خلال أيام وعلى أساس مستمر وأن مراحل استخلاص فوق الأكسيد والكحول تم استبدالها بعملية الاستخلاص بالمذيب المستمرة المتعددة المراحل.

المخطط الموضح في الشكل (١٤/٢) يوضح إنتاج اليورانيوم المركز (Uranium Concentrate) أى (Magnesium Diuranate Or ammonium Diuranate) من الخام بالغسيل (Leaching) بالحامض والتبادل الأيوني.

يتم تحويل مادة (Ammonium Diuranate) التي تم إنتاجها إلى التترافلورايد (Tetra Flouride) وهى الطريقة الجافة (Dry Way Process) بالتسخين بحيث يتم إزالة الأمونيا والبخار ويبقى ثالث أكسيد اليورانيوم (Trioxide) والذي يتم عندئذ معالجته بالهيدروجين لإنتاج ثاني أكسيد (Dioxide) وأخيرا بواسطة فلوريد الهيدروجين اللا مائي (Anhydrous Hydrogen Flouride) لإعطاء التترا فلوريد والذي يمكن اختزاله إما بالكالسيوم أو بالمغنسيوم لإنتاج كرات صلبة من اليورانيوم.

مسحوق اليورانيوم الذي له أهمية في صناعة أنواع معينة من عناصر الوقود، يمكن أن يصنع بالتفاعل بين ثاني أكسيد اليورانيوم وإما مع المغنسيوم أو مع الكالسيوم. المنتج يكون في شكل قشور (Cack) حيث يمكن منه إنتاج مسحوق اليورانيوم بإذابة مادة الترابط من أكسيد الكالسيوم والمغنسيوم (Lime Magnesia Matrix) في حامض مناسب. في الحقيقة، فإن ثاني أكسيد اليورانيوم نفسه هو مادة وقود. بعض خواص اليورانيوم موضحة في الجدول التالي :

جدول (١٠/١) خواص اليورانيوم:

19.1	(20 °م)	الاجاذبية النوعية
1133	(°م)	درجة حرارة الانصهار
3900	(°م)	درجة حرارة الغليان
0.028	(20 °c) كيلو كالورى / كجرام	الحرارة النوعية
0.060	(20 °م) كالورى /سم. °م	التوصيل الحرارى
30×10^6	رطل /البوصة المربعة	معامل يانج

اليورانيوم النقي كثيف، صلب (Hard)، ولون المعدن رمادي - أبيض وله لمعان مميز وواضح وذلك عند تحضيره طازجا. وعند تسخينه يصبح معدن ضعيف، ولكن عند التشغيل على البارد فإن قوته تقترب من تلك للصلب.

وهو نشط كيميائيا نسبيا وينطفئ بريقه بسرعة في الهواء مكونا طبقة من الأكسيد ضعيفة الالتصاق. وهذا يتطلب معالجة قطع رقيقة أو صغيرة من اليورانيوم عند درجات الحرارة العالية إما في جو مفرغ (Vacuum) أو في جو خامل.

٢ - الثوريوم : (Thrium)

الثوريوم معدن لين فضي ويوجد في خامه المسمى برمل المونازيت (Monazite Sand) ويوجد لدى الهند أكبر احتياطي في العالم من هذا الخام.

الثوريوم ليس مادة انشطارية ولكن يمكن تحويله بالقذف بالنيوترون إلى U-233 الذي هو مادة انشطارية. لذلك فإن الثوريوم يعتبر مادة ثمينة مولدة (Breeder) للإمداد بمادة انشطارية. رمل المونازيت الذي يحتوى على الثوريوم (10% - 8) يوجد أساسا في البرازيل والهند ويحتوى على كمية كبيرة من الثوريوم فى شكل أكاسيده مع كميات صغيرة جدا من أكسيد اليورانيوم. يستخلص الثوريوم من خاماته بالهضم بحامض الكبريتيك المركز. يجب الحرص أثناء معالجة خام الثوريوم لإزالة الملوثات ذات قطع امتصاص حراري كبير للنيوترون (Thermal Neut Ron Absorbtion Cross Section) للحصول على وفرة مفضلة في النيوترون أثناء إشعاعية وقود معدن الثوريوم. المونازيت معدن حراري، والذي مع كمية كبيرة من أملاح الفوسفات وأكاسيد عناصر الأتربة النادرة (Rare Earths) الموجودة، تجعل الخطوات الأولية للتصنيع صعبة. التفتت الأولى بحامض الكبريتيك المركز عند درجة الحرارة العالية يكون مطلوبا حيث يليه التخفيف بالماء ثم ترسيب الثوريوم بإضافة قلوي مسحوق الثوريوم للأغراض الميثاليرجيه يتم الحصول عليه بتحويل الثوريوم إلى هيدريد الثوريوم (Thorium Hydride) عند درجة حرارة مرتفعة وفي جو من الهيدروجين حيث يصبح مادة هشة يسهل طحنها إلى شكل المسحوق بالحجم المطلوب. تحت التفريغ وعند درجة الحرارة العالية، مسحوق الهيدريد هذا يتحلل إلى الهيدروجين ومسحوق الثوريوم الذي يمكن دمكه ودمجه أو تلييده إلى الكثافة النظرية العملية للثوريوم.

معدن الثوريوم النقي يشبه الصلب في مظهره ولكن صلابته أقل نسبياً (في مجال الفضة). وهو معدن شديد المرونة وتحدث له درة عالية من الأكسدة عند درجة الحرارة العالية. بعض الخواص الهامة للثوريوم موضحة في الجدول التالي:

جدول خواص الثوريوم

11.71	(20 °c)	الجاذبية النوعية
1600	(°م)	نقطة الانصهار
3000	(°م)	نقطة الغليان
0.028	(20 °c) كيلو كالورى / كجرام. °م	الحرارة النوعية
0.09	(20 °c) كالورى / ثانية. سم. °م	التوصيل الحرارى

الخواص الميكانيكية للثوريوم تتأثر بدرجة كبيرة بالملوثات مثل الكربون..الخ. الثوريوم مركب بين معدني (Intermetallic Compound) مع معظم المعادن. مقاومة الثوريوم للتآكل ضعيفة جداً في الهواء وفي الماء المغلي. الأكسدة في الهواء سريعة إلى حد ما، عادة عند درجة الحرارة المنخفضة. لزيادة مقاومته للتآكل في الماء المغلي فإن الثوريوم يتم جعله سبيكة (Is Alloyed) إما مع الزركونيوم أو مع (Sodium Potassium Lithium)

٣ - البلوتونيوم: (Plutonium)

البلوتونيوم معدن ينتج صناعياً بامتصاص النيوترونات في U-238. يتم استعادته من عادم وقود المفاعل الحراري. هذا الوقود العادم (المحروق) يتم إرساله إلى وحدة المعالجة الكيميائية حيث يتم فصل نواتج الانشطار من اليورانيوم الذي تم إشعاعه (Irradiated) ثم يتم فصل البلوتونيوم من اليورانيوم المستنفذ (Depleted) اليورانيوم المستنفذ في U-235 يمكن المحافظة عليه للاستخدام في مفاعلات المولد (Breeder Reactors) وأن كان بعضه يمكن أن يتم التغذية بها ثانياً مع البلوتونيوم. البلوتونيوم يمكن استخدامه مع اليورانيوم المستنفذ لإنتاج المكافئ من اليورانيوم الطبيعي أو أن يستخدم مع اليورانيوم الطبيعي لتكوين الوقود المخصب (Enriched). في حالة الرغبة، فإن جزء فقط من البلوتونيوم يمكن استخدامه بهذه الطرق والباقي وقود لمفاعلات حرق البلوتونيوم. في حالة عدم إمكان توفير البلوتونيوم من بعض المصادر الأخرى فإن كل وقود اليورانيوم يتم استخدامه لبدء المفاعل، ولكن بمجرد تشغيله لفترة طويلة كافية لإنتاج

بعض البلوتونيوم، فإنه يمكن تدوير البلوتونيوم. بعد وقت يتم الوصول إلى حالة الاتزان التي فيها كمية البلوتونيوم المحروقة في وقت معين تساوي الكمية المتكونة.

بعض الخواص الهامة للبلوتونيوم موضحة في الجدول (١٠/٢)

19.72 – 19	الجاذبية النوعية
640 °c	نقطة الانصهار
3232 °c	نقطة الغليان
$55 \times 10^{-6} / ^\circ\text{c}$	معامل التمدد
0.02 calorie / cm. Soc. °c	التوصيل الحراري

الاختلافات في الكثافة، المقاومة الكهربائية والتمدد مع التغيرات البسيطة في درجة الحرارة تجعل من إعداد وتصنيع البلوتونيوم من العمليات الصعبة. هذا بجانب الحذر الشديد اللازم عند تداول البلوتونيوم نظرا لسميته الشديدة وكذلك نشاطه الكيميائي.

الوقود النووي الخزفي: (Ceramic Nuclear Fuels)

الوقود الصلب له ميزة جيدة لاقتصاد النيوترون، وتوصيل حراري جيد ومقاومة عالية للصدمات الحرارية. ولكن سلبيات الوقود الصلب هي درجة حرارة الانصهار المنخفضة وضعف القوة عند درجات الحرارة العالية، والتي تسمح بالعمل عند درجات الحرارة العالية التي تحدث في مفاعلات الطاقة. مواد الوقود الخزفية توفر مميزات كثيرة تزيد عن الوقود المعدني الصلب بالنسبة للقوة، التمدد الحراري، التوصيل الحراري، مقاومة التآكل والتلف بالإشعاع ونقطة الانصهار. هذه النوعيات تجعله قابلا للاستخدام عند درجة الحرارة العالية كما هو الحال في مفاعلات الطاقة ذات الخرج العالي. التوصيل الحراري للوقود الخزفي جيد ومقاومة التآكل تتفوق على تلك لمعدن اليورانيوم. ولكن العيب الرئيسي لوقود السيراميك هو أنه يحتوي على يورانيوم قليل لوحدة الحجم مقارنة بالمعدن النقي ولا يتحمل صدمات درجات الحرارة الشديدة المحتمل حدوثها أثناء بدء التشغيل أو التوقف للمفاعلات. هذا بجانب إلى أنها هشة عند درجة حرارة الغرفة والتي تعيق تشغيلها ميكانيكيا باستثناء الطحن. UO_2 مادة الوقود المستخدمة أحيانا يمكن تليدها بحرق كتلة من مسحوق مجموع من المكونات الخزفية والمعدنية والمعروف باسم (Cermets) والتي أكثر إفادة كمادة وقود. بسبب المكون المعدني فإن السيرميت أكثر

مقاومة لصدمة الحرارة عن المواد الخزفية وكذلك تتحسن خاصية التوصيل الحراري بمواد الملى المعدنية بين الجسيمات الخزفية. هذا بالإضافة إلا أنها غير معرضة لتلف الإشعاع.

الوقود النووي السائل: (Liquid Nuclear Fuels)

كثيرا من المفاعلات النووية مصممة لاستخدام الوقود السائل ذلك لأن استمرار التفاعل المتسلسل يعتمد على وجود كتلة حرجية من المواد الانشطارية خلال حجم معين وليس على ما إذا كانت مادة الانشطار في الشكل الصلب أو السائل.

من بين الطرق المتعددة لاستخدام المادة الانشطارية في شكل سائل فإن أبسط طريقة هى بإذابة ملح مادة انشطارية في الماء بالكمية التي يتم بها الحصول على الكتلة الحرجية. كمثال، فقد استخدم (Uranyl Sulphate)، (Uranyl Nitrate) المخصب المذاب في الماء لوقود في مفاعلات الطاقة الصغيرة. في هذه الحالة يعمل الهيدروجين كمهدئ (Moderator) بينما يعمل الماء كمبرد لإزالة الحرارة من المفاعل. مفاعلات غلاية الماء (Water Boilers) التي تستخدم أملاح اليورانيوم المذابة في الماء كوقود، يتم تبريدها بتحويل الماء إلى بخار والذي يتكثف في الخارج ويعاد تدويره إلى لب المفاعل. النوع الثاني من الوقود السائل المناسب للمفاعلات ذات خرج الطاقة العالي يمكن أن تستخدم اليورانيوم المنصهر كوقود. ولكن يتطلب درجة حرارة تشغيل لتكون أعلى من درجة حرارة انصهار اليورانيوم (1133°C) التي عندها تواجه مواد الإنشاء مشاكل كبيرة عند الالتصاق باليورانيوم المنصهر، ولذلك، فإن مفاعل اليورانيوم المنصهر لم يؤخذ في الاعتبار بطريقة جادة ولكن، المفاعل المصمم (Brookhaven Laboratory) في الولايات المتحدة والى يسمى مفاعل وقود المعدن السائل يستخدم معدن اليورانيوم مع البزمت (Bismuth) في الحالة المنصهرة والذي له درجة حرارة انصهار منخفضة مقارنة باليورانيوم النقي. أحد ظواهر ذلك المفاعل هو الإزالة المستمرة لنواتج الانشطار من وقود المعدن السائل بمعالجته بملح منصهر. لقد وجد أن عدا كبيرا من نواتج الانشطار الغير مرغوب فيها لها ميل كبير للتفاعل الكيميائي مع الأملاح المنصهرة عن الوقود المنصهر، ولذلك فينقل إلى خليط الملح المنصهر. الوقود السائل يمكن عندئذ تدويره وعودته ثانيا إلى المفاعل. النوع الثالث من الوقود السائل يمكن أن يستخدم على مركب ذو انصهار منخفض من مادة قابلة للانشطار التي يمكن استخدامها بطريقة تشبه لوقود مفاعل وقود المعدن السائل الأمريكي السابق الإشارة إليه.

جدول يبين رواسب اليورانيوم والثوريوم في دول العالم.

الدولة	الرواسب بالطن من اليورانيوم	الرواسب بالطن من الثوريوم
أمريكا	820000	320000
كندا	468000	158000
أستراليا	323000	160000
البرازيل	18500	—
الهند	52000	320000

الفصل الحادى عشر

المفاعلات النووية (Nuclear Reactors)

١- مقدمة:

المفاعلات النووية هى تلك الاحتواءات (Containments) التى تتم فيها التفاعلات النووية، كما فى حالة الفرن حيث تنطلق الحرارة بحرق الفحم، أما فى المفاعل النووى فإن الوقود يتحلل لإطلاق كمية ضخمة من الحرارة. عملية التحلل للوقود النووى هذه تعرف بالانشطار (Fission). الوقود النووى المستخدم فى المفاعلات النووية هو اليورانيوم الطبيعى الذى يتكون من 0.71% U-235، الباقي U-238، U-233 والذى يحدث له تفاعل انشطار بسهولة. عند قذف (تصادم) نيوترون واحد مع ذرة U-235 فإنها تنقسم بشدة إلى أجزاء المصاحبة لعدد اثنين أو ثلاث نيوترونات زائدة - وبذلك تنطلق كمية كبيرة من الطاقة.



تلك النيوترونات المنبعثة قادرة على تنشيط الانشطار لنويات أكثر من U-235. لذلك فإنه يمكن حدوث تفاعل مستمر متسلسل الذى تكون فيه انبعاثات الطاقة كبيرة بدرجة مهولة.

المسار المستقبلى للتفاعل النووى بالنسبة لإزالة مصادر النيوترون يتوقف على معامل المضاعفة K (Multipli Cation Factor) الذى يعرف بالآتى:

$$K = \frac{\text{عدد النيوترونات المنتجة فى كل انشطار}}{\text{عدد النيوترونات المنتجة للانشطار}}$$

عندما تكون $K > 1$ ، فإن عدد النيوترونات المنتجة يقل مع الوقت والتفاعل المتسلسل لا يمكن استمراره. وعندما تكون $K = 1$ ، فإن عدد النيوترونات يظل ثابتا والتسلسل المحكم المنطلق يستمر بمعدل ثابت كما فى المفاعلات النووية والطاقة المنطلقة يمكن أن تستخدم فى الأغراض السلمية. عندما تكون $K < 1$ ، فإن عدد النيوترونات ومعدل الانشطار يزداد سريعا ويحدث تفاعل غير مسيطر عليه بما يؤدى إلى الانفجار كما فى حالة القنبلة النووية.

النيوترونات المنبعثة الثنائية الناتجة بالانشطار لا يمكنها إنتاج انشطار تالى إذا هربت أو احتجزت بالملوثات ذات مقطع ضخم (Large Cross Section) مثل U-238 الموجود فى اليورانيوم الطبيعى ويتحول إلى البلوتونيوم، أى مادة انشطارية أخرى.



التفاعلات يتم التحكم فيها باستخدام ماص للنيوترونات مثل الكادميوم أو البورون. فى حالة ارتفاع معدل تدفق النيوترونات فى قضبان التحكم يتم دفعها أكثر فى المفاعل الامتصاص النيوترونات الزائدة، بينما فى حالة انخفاض معدل تدفق النيوترونات فإنه يتم سحب قضبان التحكم إلى خارج المفاعل. النيوترونات الثانوية (Secondary) يتم إبطاءها بالمهدئات (Moderators) مثل الجرانيت، الماء الثقيل .. الخ.

من بين كل ٢ - ٣ نيوترونات التى تنطلق فى كل انشطار، فإنه لا يقل عن واحد يجب أن ينجح فى الحصول على انشطار آخر فى حالة الإصرار على ومداومة التفاعل المتسلسل. يوجد سببين رئيسيين لماذا يكون ذلك صعبا للتنفيذ باليورانيوم المخصب قليلا أو الطبيعى. بدلا من التصادم مع ذرات اليورانيوم U-235، فإن النيوترونات يمكن أن تهرب وتضطرم وتمتص بأحد ذات U-238. رغم أن النيوترون السريع قد يسبب أحيانا انشطار U-238، فإن التفاعل المتسلسل فى اليورانيوم الطبيعى يكون مستحيلا. ولكن وجد أنه فى حالة إبطاء النيوترونات فإنه يوجد احتمال كبير لتسبب الانشطار لـ U-235. وعندئذ يمكن استمرار التفاعل المتسلسل.

المهدئ إما أن يختلط مع اليورانيوم، أو إذا كان اليورانيوم فى شكل منشأ شبكي (Lattice Work) من عناصر وقود صلب، فإن المهدئ يشغل معظم الحيز المتاح. المهدئ يجب أن يكون له صفة الامتصاص الضعيف لنيوترونات، حيث عند تصادم النيوترونات مع ذرته فإنهم لا يفقدوا. ثانيا ذرات المهدئ يجب أن تكون صغيرة ما أمكن بحيث أن النيوترونات سريعة الحركة خلال عدة تصادمات الكرات، سوف تفقد غالبا معظم سرعتها. النيوترونات تتحرك عندئذ بطاقة صغيرة تقريبا متوازية مع متوسط الطاقة الحركية للجزيئات للمهدئ، وهذه تسمى النيوترونات الحرارية ذات طاقة أقل من (0.025 ev). أى (٢٢٠٠ متر فى الثانية). لذلك يحدث التفاعل المتسلسل إذا كانت

النيوترونات المنطلقة من أى انشطار فردى ثبت فجأة بين ذرات المهدئ وترتد بدون حدوث هروب أو بدون حدوث امتصاص وتبطأ بما يكفى لتصادم واحدة مع ذرة أخرى من U-235 ويسبب لها حدوث الانشطار. عندما يكون عدد النيوترونات المتحركة بهذه الطريقة فى المفاعل ثابت من وحدة توليد الانشطار إلى التالية، فإن المفاعل يقال له أنه حرج (Critical) إذا حدث فى المتوسط قَد للنيوترونات فإن النظام يكون دون الحرج والتفاعل المتسلسل لا يمكنه القدرة على الاستمرار . إذا كانت كثافة النيوترونات تزداد فإن النظام يسمى فائق الحرج ومعدل انطلاق الطاقة سوف يزداد. التحكم فى المفاعل يتم بإدخال مادة التى تمتص النيوترونات بسرعة مثل الكادسيوم أو البورون. هذه يمكن أن تكون فى شكل قضبان تحكم التى يمكن سحبها بما يكفى ليصبح التفاعل حرجا (Critical).

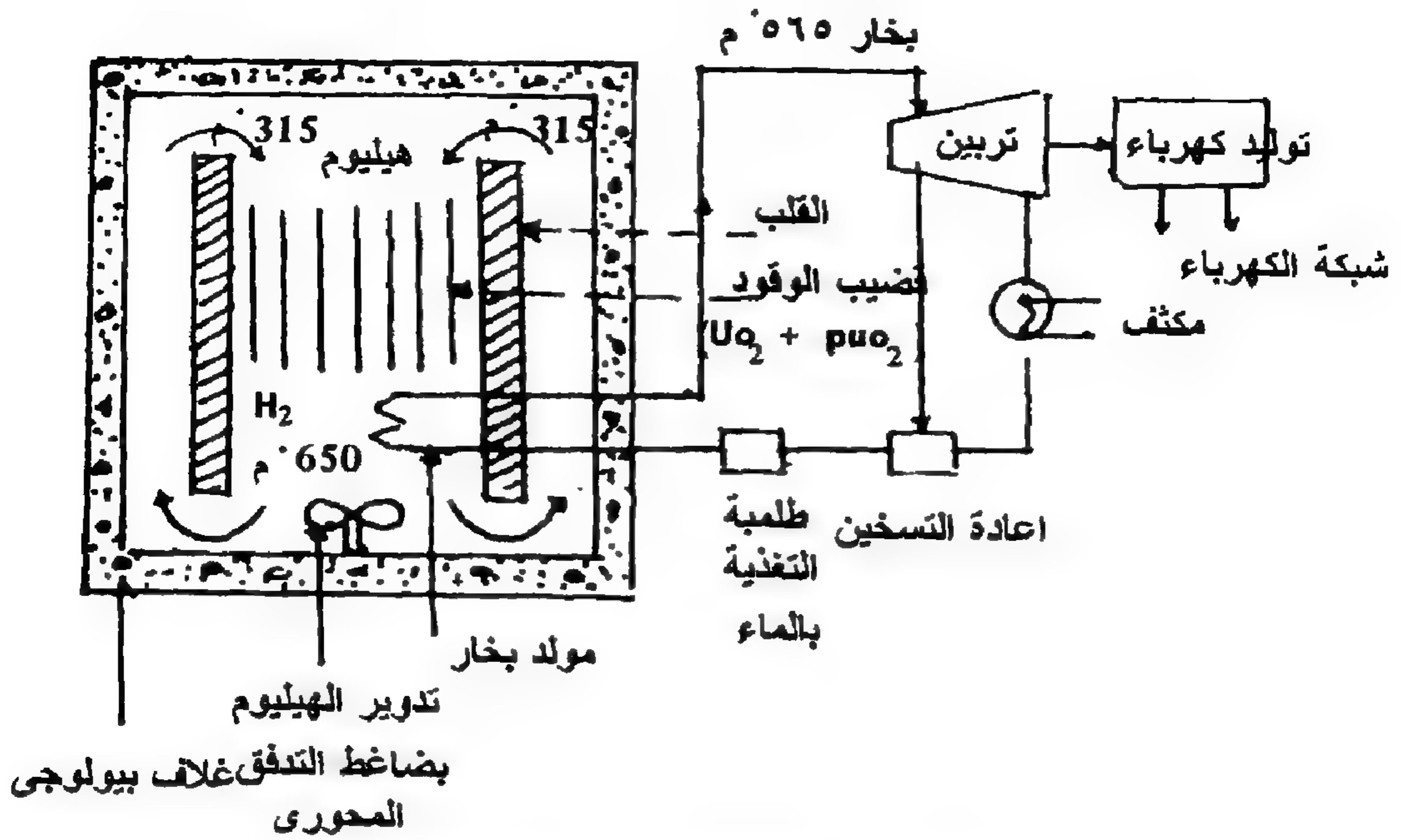
نواتج الانشطار فى مفاعل الطاقة مزعجة. توجد ٤٠ طريقة مختلفة التى فيها يمكن أن ينشط U-235، بحيث مع تقدم التفاعل المتسلسل، فإن العديد من العناصر تراكم فى اليورانيوم المتبقى، معظمهم شديد الإشعاعية - كثيرا منهم ماص قوى للنيوترونات . للحماية ضد الإشعاع، فإن المفاعل يجب إحاطته بطبقة غطاء كثيفة من الخرسانة الثقيلة.

الذرات المتوفرة من U-238 يمكن أن تصبح انشطارية بسهولة بتحويلها إلى البلوتونيوم. هذا التحول يمكن أن يحدث خلال فترة زمنية من عدة أيام. المفاعل النووى يمكن فى نفس الوقت أن ينتج مادة انشطارية خام. فى الحقيقة، عندما يكون من الممكن للنيوترون الثانى من كل انشطار أن يجد طريقة لذرة من U-238 وتحويلها إلى البلوتونيوم، بذا تجديد الإمداد بالمادة الانشطارية بنفس المعدل الذى به تستهلك، فإن الطاقة المتاحة من اليورانيوم تتضاعف نظريا بمعامل ١٤٠. المفاعل الذى يشمل ذلك يسمى المولد (Breeder)، U-232 يسمى مادة خصبة (Fertile).

الثوريوم 232 الموجود فى الطبيعة هو كذلك مادة خصبة ذلك لأن النيوترون الممتص فى $Th\ 232$ يعطى U-232، سهل الانشطار كذلك.

لذلك المفاعل المحتوى على ما يكفى من U-235 لمساعدة التفاعل المتسلسل و $Th232$ كمادة خصبة يمكن كذلك أن يصبح مولد.

باختصار، لذلك فإن المفاعل يتكون من مادة انشطارية ومهدئ، قضا تحكم، غلاف ومادة خصبة. بالإضافة، إلى أنه يجب وجود مواد الإنشاء والآليات لإزالة الحرارة التي تنتج. المبردات يمكن أن تكون الهواء، CO_2 ، ماء، صوديوم منصهر.. الخ.



شكل (١١/١) مفاعل التوليد السريع بالتبريد بالغاز

٢- عناصر المفاعل النووي: Elements Of Nuclear Reactor

الأجزاء المختلفة للمفاعل هي:

- لب الوقود Core OF Fuel
- مهدئ النيوترون Moderator
- وسائل تنظيم عدد النيوترونات الحرة وبذا التحكم في معدل الانشطار.
- وسائل إزالة الحرارة المنتجة.
- غلاف ضد الإشعاع.

١ - الوقود:

المقوم الأساسى لوقود المفاعل هو المادة الانشطارية. العنصر الوحيد الموجود فى الطبيعية الذى يحدث له انشطار سريع مع التصادم بالنيوترونات هو اليورانيوم - ٢٣٥ ، والذى يكون حوالى ٠,٧١٪ من اليورانيوم الطبيعى. معظم باقى العناصر يوجد فى شكل يورانيوم - ٢٣٨ ، والذى يسمى المادة الخصبة ذلك لأنه يمكن تحويله إلى مادة قابلة للانشطار. والتي تسمى البلوتونيوم - ٢٣٩.

وقود المفاعل عادة يحتوى على خليط من مواد انشطارية ومواد خصبة (Fertile). فى أثناء عمل المفاعل ومع إشعاع الوقود فإن ذرات المادة الانشطارية تستنفذ، وفى نفس الوقت تتكون مواد انشطارية جديدة من المادة الخصبة. نسبة الذرات الانشطارية المستنفذة إلى الذرات الانشطارية الجديدة المتكونة يتوقف على تصميم المفاعل. من الممكن حمل زيادة قليلة فى مقدار المادة الانشطارية فيما يسمى المفاعل المولد (Breeder Reactor) ولكن معظم المفاعلات الحالية تعمل بالفقد النهائى (Net Loss) للمادة الانشطارية.

فى المفاعل، عندما تكون المادة الانشطارية كافية لتنشيط التفاعل المتسلسل، فإن المفاعل يقال أنه حرج والكتلة المقابلة تسمى الكتلة الحرجة (Critical Mass). بعض المفاعلات، تستخدم الوقود السائل كمحلول مائى لليورانيوم المخصب (Enriched). ولكن غالبا، يكون الوقود صلب إما يورانيوم معدنى أو خزفى مثل كربيد اليورانيوم (Uranium Carbide). الوقود الصلب، يتم تصنيعه فى أشكال مختلفة صغيرة من الألواح أو من الكرات.. الخ، والتي عادة تتجمع أو تنعقد مع بعضها البعض فى مجموعات تسمى عناصر الوقود (Fuel Elements). لب المفاعل قد يحتوى على من العشرات حتى المئات من عناصر الوقود هذه المعلقة فى إطار هندسى ثابت بواسطة ألواح شبكة القضبان المتصلية (Grid Plates): كل عناصر الوقود الصلب تشمل ما يعرف بغطاء الوقود (Fuel Cladding). غطاء الوقود هذا يأخذ شكل طبقة التغطية للحماية أو الغلاف الذى يمنع الالتصاق المباشر بين مادة الوقود ومبرد المفاعل (Coolant) وكذلك يعمل كجزء من بناء عنصر الوقود. المستخدم عادة كغلاف أو طبقة تغطية هو سبائك الصلب المقاوم والزركونيوم فى مفاعل الطاقة، المستخدم فى مفاعل الأبحاث عموما هو الألومينيوم.

النيوترونات المنطلقة فى التفاعل المتسلسل تسير أولا بسرعة عالية جدا. وهى تفقد السرعة عند تصادمها اللدن مع المادة المحيطة فى اللب. هذا الانخفاض فى السرعة مطلوباً ذلك لأن النيوترونات البطيئة أكثر تأثيراً فى إحداث الانشطار عن النيوترونات السريعة. فى حالة حدوث التصادمات البطيئة جداً. ولكن فى حالة حدوث تصادمات كثيرة جداً، قد يحدث أن يغامر نيوترون بالتصادم مع ذرة التى تمتصه بدون إنتاج (نواتج الانشطار تمتص النيوترونات سريعاً). لذلك فإنه يكون من المهم خفض سرعة النيوترونات ببعض الوسائل. يتم ذلك بالمهدئ .

النيوترونات لها كتلة هى تقريبا تعادل تلك لذرة الهيدروجين، لذلك فإن المواد المحتوية على تركيز من الهيدروجين أو ذرات خفيفة الوزن أخرى تكون مؤثرة جداً كمهدئات . المواد المستخدمة كمهدئات تشمل الماء العادى، الماء الثقيل (D_2O)، الجرافيت، البريليوم، ومواد عضوية معينة.

كما هو واضح فإن المهدئ يجب أن يتم توزيعه جيداً خلال منطقة الوقود. فى بعض المفاعلات يتم ذلك بوجود فاصل بين عناصر الوقود بحيث يوجد المهدئ بينها، وفى حالات أخرى يتم ذلك بالخلط الجيد للمهدئ مع الوقود.

٣ - نظام التحكم: (Control system)

معظم المفاعلات النووية يتم التحكم فيها بتنظيم عدد النيوترونات فى اللب. يتم ذلك بالمواد التى تمتص النيوترونات أى نشافات النيوترونات (Neutrons Blotters). مثل لنشافات الإليكترون الكادميون، والبورون، الهافتيام (Hafnium) عادة تلك المواد يتم إدخالها فى المفاعل بواسطة قضبان قابلة للسيطرة والتحكم. النموذجى، يتم تجهيز المفاعل بمجموعة واحدة من قضبان التحكم (التى تم الإشارة إليها كقضبان تنظيم) لأغراض التحكم الروتينية، ومجموعة معاونة (يشار إليها بقضبان الأمان) لتسمح بسرعة التوقف فى حالة الطوارئ.

كل ذرة من الوقود التى يحدث لها انشطار تطلق من ٢ - ٣ نيوترونات. النيوترونات الحرة تظل لمدة قصيرة جداً حوالى ١ / ١٠٠٠٠ من الثانية أو الثانية بين وقت إحداثها

لانشطار آخر أو أن يتم امتصاصها. على هذا الأساس إذا حدث زيادة طفيفة في أعداد النيوترونات من تولد نيوترون إلى آخر، فإن معدل الانشطار يمكن بسهولة أن يتضاعف لعدة مئات كل ثانية. أثناء الانشطار بعض النيوترونات لا تنطلق في الحال. يخفض عدد النيوترونات إلى الحد حيث النيوترونات اللازمة لاستمرار تفاعل الانشطار المتسلسل، فإن المعدل العادي يزداد فقط بمعدل ١ - ٢٪ في الثانية. وهذا يكفي بالتدريج ليظل جاهزا للسيطرة.

عند تحميل الوقود في المفاعل، يكون عددا من قضبان التنظيم والتحكم " في مكانها". بعد تمام التحميل يتم وضع المفاعل في التشغيل بسحب قضبان الأمان (Safety Rods) والسحب الجزئي لقضبان التنظيم (Regulating Rods). الخطوة الأخيرة تتم بالتدرج وذلك طبقا لإشارات (Signals) من أجهزة العد للنيوترونات المستخدمة في رصد معدل الانشطار. بمجرد وصول المفاعل إلى الحالة الحرجة، أي أن التفاعل المتسلسل أصبح ذاتي الاستمرار، فإن تحريك قضبان التنظيم تصبح مسألة ضبط لاستمرار حالة التشغيل المستقرة. إذا كان مستوى طاقة التشغيل (أي معدل المفاعل) يلزم زيادته، فإنه يتم سحب إضافي لقضبان التحكم (Control Rods).

٤ - نظام إزالة الحرارة: Heat Removal system .

إطار انطلاق الطاقة في عملية الانشطار هو كالاتي:-

٨٤٪	الطاقة الحركية لنواتج الانشطار
٢,٥٪	الطاقة الحركية للنيوترونات
٢,٥٪	الانطلاق الفوري لأشعة جاما (Y)
١١٪	التحلل الإشعاعي التدريجي لنواتج الانشطار

مع تصادم نواتج الانشطار (والنيوترون) مع المادة المحيطة فإن طاقتها الحركية تتحول إلى حرارة إلى حد ما. معظم الحرارة يتم توليدها في اللب (Core).

إذا كان المفاعل يعمل عند خرج حرارة صفر (قليل فقط من عدد الوات)، فإن كمية الحرارة الصغيرة المنطلقة سوف تنشتت ذاتيا عندئذ لا توجد حاجة لنظام تبريد. ولكن معظم المفاعلات تعمل عند مستويات طاقة يمكن تقديرها، [خرج حرارة كيلوات أو ميجاوات] ولذلك يلزم تبريده لمنع حدوث السخونة الزائدة وانصهار اللب. في تطبيقات

الطاقة أو الدفع (Propulsion)، فإن الحرارة التي تحمل بعيدا هي المنتج الرئيسي للمفاعل.

أحد الظواهر الخاصة للمفاعل النووي هو قدرته على العمل واقعا عند مستوى الطاقة؟، حيث عامل الحدية هو المعدل الذي يمكن به نظام التبريد حمل الحرارة بعيدا. بعض المفاعلات تعتمد على الحمل الحراري الطبيعي (Natural Convection) للمبرد، ولكن معظمهم مجهز بنظام التدوير بقوة. تستخدم مواد تبريد مختلفة، بما فيها الغازات مثل الهواء، الهيليوم، ثاني أكسيد الكربون، السوائل مثل الماء العادي، الماء الثقيل، مركبات عضوية معينة والمعادن السائلة مثل الصوديوم. في بعض المفاعلات، يعمل المبرد كمهدئ كذلك. ولكن في مفاعلات أخرى يكون كلا من المهدئ والمبرد مواد مستقلة. المفاعلات التي تعمل في الأبحاث تعمل عموما عند درجة حرارة منخفضة (أقل من ١٠٠°م). على الجانب الآخر المفاعلات المنتجة للطاقة تعمل عند درجة حرارة مرتفعة نسبيا (حوالي ٢٦٠°م).

٥ - حجب الإشعاع: (Radiation shield)

الجزء من طاقة الانشطار الذي لا يظهر مباشرة كحرارة، فإنه يظهر كإشعاع ذري (Atomic Radiation). لذلك لحماية العاملين من إشعاع المفاعل النووي فإنه يلزم حجبه جيدا. في المفاعل يوجد نوعين من الحجب وهما الحراري والبيولوجي. الحجب الحراري يستخدم في المفاعلات ذات الطاقة العالية لحماية حوائط المفاعل من التلف الإشعاعي. وهو يصنع عادة من الصلب. الحجب البيولوجي يوجد خارجيا ويأخذ شكل منشأ من الخرسانة بسمك عدة أقدام محيطة بالمفاعل.

تقسيم المفاعلات النووية:

تنقسم المفاعلات النووية طبقا لنظام التفاعل المتسلسل، الاستخدام، المبردات، مادة الوقود... الخ.

١- طبقا لطاقت النيوترون:

- مفاعل سريع.
- مفاعل متوسط يعمل بامتصاص النيوترونات الوسيطة (Epithermal).
- مفاعل حراري (طاقة منخفضة).

٢ - طبقا لتجهيز مهدئ الوقود:

- مفاعلات متجانسة.
- مفاعلات غير متجانسة.

٣ - طبقا لمواد الوقود:

- مفاعل اليورانيوم الطبيعي.
- مفاعل اليورانيوم المخصب.
- مفاعل البلوتونيوم.
- مفاعل U-233.

٤ - طبقا للمهدئ:

- مفاعل التهدة بالماء.
- مفاعل التهدة بالماء الثقيل.
- مفاعلات التهدة بالجافيت.
- مفاعلات التهدة باليريليوم أو بأكسيد اليريليوم.
- مفاعلات التهدة بالهيدروكربونات أو بالهيدريدز (Hydrides).

٥ - طبقا للنتج الرئيسى:

- كفاعلات الأبحاث (لإنتاج النيوترونات).
- مفاعلات الطاقة (لتوليد الحرارة)
- مفاعلات التوليد (لإنتاج مواد انشطارية)
- مفاعلات إنتاج (لإنتاج النظائر - Isotopes).

٦ - طبقا للمبرد:

- تبريد المفاعل بالهواء، ثانى أكسيد الكربون أو الهيليوم.
- مفاعلات التبريد بالماء أو أى سائل تبريد آخر.
- مفاعلات التبريد بسائل المعدن.

٧ - طبقا لإنشاء اللب: construction Of Core

- مفاعل مكعب.
- مفاعل مستدير.
- مفاعل مستطيل.
- مفاعل كروى.

٨ - طبقا لطاقة النيوترونات:

على أساس طاقة النيوترونات لإحداث الانشطار، تم تقسيم المفاعلات إلى ثلاث مجموعات وهم السريعة، المتوسطة، الحرارية.

أ - فى المفاعلات السريعة تستخدم النيوترونات ذات السرعة العالية وبطاقة $1 \leq$ كيلو فولت ($1 \geq \text{kev}$) الناتجة بالانشطار تستخدم مباشرة لإحداث الانشطار فى وقود المفاعل . سرعة النيوترونات لا تنخفض عمدا.

ب - فى المفاعل الحرارى تستمر عملية الانشطار بسبب النيوترونات البطيئة ذات طاقة تساوى ٠,٠٢٥ إليكترون فولت (0.025 ev) (2200 متر/ث). فى هذا يتم تبطين النيوترونات بالمهدئات.

ج - إذا أمكن المحافظة على طاقة النيوترون ما بين ٠,٠٢٥ إلى واحد كيلو إليكترون فولت (1 Kev) عندئذ فإن المفاعلات تسمى المتوسطة.

٩ - طبقا لتجهيز مهدئ الوقود:

بالنسبة لتنظيم الوقود والمهدئ فى المفاعل، يمكن تقسيمهم إلى المفاعلات المتجانسة والغير متجانسة.

أ - فى المفاعل المتجانس، يتم خلط الوقود والمهدئ لتكوين مادة متجانسة.
ب - فى المفاعل الغير متجانس، يستخدم الوقود فى شكل قضبان، ألواح، أو أسلاك والمهدئ يحيط بكل عنصر للوقود فى اللب.

١٠ - طبقا لمادة الوقود:

مع الأخذ فى الاعتبار المتطلبات الضرورية لعملية الانشطار وإتاحتها اقتصاديا، فإن الوقود المستخدم فى المفاعلات هو اليورانيوم، البلوتونيوم، الثوريوم ويتم تسميتهم طبقا لذلك.

١١ - طبقا للمهدئ:

وظيفة المهدئ هى تبطين النيوترونات عند اصطدامها بها. الماء الخفيف، الماء الثقيل، الجرافيت هم المهدئات الأكثر شيوعا فى الاستخدام.

١٢ - طبقا للمنتج الرئيسى:

أ - مفاعلات الأبحاث:

وهذه تصمم لإنتاج تدفقات عالية من النيوترونات لأعمال الأبحاث وهذه تستخدم لتعيين خواص النيوترونات للتفاعل مع النويات وتأثير تصادم النيوترونات على المادة. هذه المفاعلات تعمل عند تدفقات عالية للنيوترونات ومستوى طاقة منخفض.

ب- مفاعلات الطاقة:

فى مفاعلات الطاقة، الطاقة الناتجة فى شكل حرارة تحمل إلى المبادلات الحرارية بتدوير المبرد خلال المفاعل والمبادلات الحرارية حيث يتحول ماء التبريد إلى بخار لتشغيل تربيتات توليد الطاقة الكهربائية على نطاق كبير.

ج- مفاعلات التوليد (Breeder Raactors)

هذا المفاعل يحول مادة الإخصاب (Fertil) إلى مادة انشطارية مثل U^{238} ، th^{239} ، U^{233} على التوالى بجانب إنتاج الطاقة فى هذا المفاعل كمية المادة الانشطارية المنتجة تكون أكثر من المستنفذة.

د- مفاعلات الإنتاج:

الخرج من مثل هذه المفاعلات هو مادة إشعاعية تسمى النظائر المشعة (Radioiso Topos) والتي تستخدم كمصادر للإشعاع والتتبع (Tracers) فى الأبحاث.

١٣ - طبقا للمبرد:

فى مفاعلات التبريد بالغاز، كمية الغاز المطلوبة لسحب الحرارة تكون كبيرة جدا ولذلك فإن هذه المفاعلات تكون مكلفة. الغازات لها طاقة ضعيفة للحمل الحرارى. ثانى أكسيد الكربون والهيليوم استخدما فى المفاعلات الأولى. غالبا المستخدم فى التبريد هو الماء. مفاعلات التبريد بالمعدن السائل مناسبة كذلك لأن المعادن لها درجة حرارة غليان مرتفعة.

١٤ - طبقا لبناء اللب:

الشكل المناسب لللب المفاعل يبنى على اعتبارات عملية واقتصادية ويكون إما مكعب، مستدير، أو حلقى.

المفاعل سريع التوليد (Fast Breeder Reactor)

وقود اليورانيوم المستخدم في المفاعلات في الولايات المتحدة الأمريكية يحتوى على حوالى ٣٪ يورانيوم - ٢٣٥. بينما اليورانيوم الطبيعى يحتوى على ٠,٧٪ فقط من النظير ٢٣٥. لذلك فإن وقود اليورانيوم ثرى فى U^{235} الانشطاري، والذي يتم الحصول عليه خلال عملية إثراى لليورانيوم الطبيعى. حاليا المفاعلات التجارية لاستخدام كفاءة الوقود لأنها تستخلص فقط حوالى ١٪ من الطاقة المتاحة فى اليورانيوم الطبيعى. كما فى حالة الوقود الحفرى. فإن الإمداد باليورانيوم محدود، وطبقا لمعدل استخدامه فإنه سوف يستنفذ خلال حوالى ٥٠ عاما. إذا كان من الممكن ترويض الطاقة فى اليورانيوم - ٢٣٨ بطريقة أو بأخرى. فإن استخدام وقود اليورانيوم سوف يمتد لعدة مئات من السنين. يمكن تنفيذ ذلك فى مفاعل توليد. فى هذا المفاعل يتم تحويل U^{238} إلى البلوتونيوم (Pu^{239}). الذى يمكن أن يعمل كوقود كما فى حالة يورانيوم ٢٣٥. مفاعل التوليد يمكن أن يبدأ باليورانيوم - ٢٣٥ وينتج كهرباء، مثل المفاعل العادي، ولكن يمكن كذلك أن تنتج (Pu^{239}) من U^{238} . مع الوقت يستنفذ U^{235} ، ويكون إنتاج P^{239} أعلا من استنفاد U^{235} . ويقوم Pu^{239} بالعمل كوقود وينتج طاقة كهربية. مع استمرار الإمداد باليورانيوم ٢٣٨. فإن مفاعل التوليد يمكن أن ينتج الكهرباء ووقود أكثر عن الذى بدء به.

فائدة أخرى لمفاعل التوليد هى انه يمكن أن يستخدم الثوريوم (Th^{235}). الثوريوم متاح كاليورانيوم ولكنه غير انشطاري. مفاعل التوليد يمكن أن يحول (Th^{232}) إلى اليورانيوم (U^{233}) والذي يكون انشطاريا مثل (U^{235})، (Pu^{239}). هذا يمكن ان يكون فائدة كبيرة للدول التى ليس لها رواسب كافية من اليورانيوم ولكن تكون غنية فى الثوريوم.

مفاعل التوليد السريع لا يستخدم أى مهدئ. يستخدم الصوديوم السائل كمبرد، الذى هو قادر على الحصول على كثافات قوة ذات قيم أعلا عن تلك التى يمكن الحصول عليها مع الماء أو الماء الثقيل (D_2O) كمبرد. ينتج عن ذلك خفض المتطلبات فى مخزون المادة الانشطارية وطاقات كبيرة بكمية معينة من المادة الانشطارية. درجة الحرارة التى يتم الحصول عليها تكون أعلا، نتيجة كفاءة أعلا فى توليد الكهرباء. بينما كفاءة المفاعل

الحديث هي حوالى ٢٨٪، فإن مفاعلات التبريد بالصوديوم ترفع الكفاءة إلى ٤٢٪. توجد مشاكل كثيرة فى تداول الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة. يوجد فرق واضح فى نوع الوقود المستخدم فى مفاعل التوليد السريع (fast Breeder). الوقود لمفاعل التوليد السريع يجب أن يكون له قدرة حرارية أعلا ويحترق. نسبة المادة الانشطارية فى الوقود يجب أن تكون عالية.

الخواص العامة لمفاعل التوليد السريع: (fast Breeder)

- يستخدم اليورانيوم - ٢٣٥ المخصب أو سبائكه كوقود يقلل مقطع اللب كثيرا. وهذا يقلل الأبعاد الكلية لوعاء المفاعل وكذلك دروع الحماية. الاستثمارات الأولية تكون أكثر، ولكن، على المدى الطويل، فإن المفاعل يبرهن انه اقتصادي.
- مبرد الصوديوم يستخدم حرارة نوعية عالية، توصيل حرارى عالى ويمكن رفعه إلى درجة حرارة عالية بدون التحول إلى حالة البخار، الحجم المطلوب للمبرد يكون أقل.
- المفاعل لا يحتاج إلى مهدئ لأن الانشطار فى اللب يعود إلى النيوترونات السريعة.
- نسبة التحول مرتفعة مع U 235.
- اقتصاديات النيوترون لا تتأثر كثيرا إذا كانت مواد الإنشاء المستخدمة لا تزيد عن ٢٠٪ من اللب بالحجم.
- الوقود يكون فى شكل إبرة ربط (Knitting Needle) لأن الوقود يكون معرضا إلى درجة الحرارة العالية بسبب صغر حجم اللب وارتفاع كثافة الطاقة.
- ممر المبرد هو بقطر ٣٢،٠ سم ، لذلك يلزم الحذر نحو عدم انسداد ممر المبرد.
- مادة الإنشاء المستخدمة هي الكروم، الحديد، الصلب المقاوم، النيكل، الحديد ذو الكربون المنخفض. وهذه ذات مقاومة للتآكل فى الصوديوم حتى عند درجة الحرارة العالية، ولكن نسبة الأكسجين يجب أن تكون منخفضة. نظرا لأن تلك المواد ليست مكلفة، فإن نظام الجهاز سوف لا يكون مكلفا.
- نظرا للتوليد السريع فإن استثمار الوقود يكون صغيرا . المفاعلات السريعة، اقتصادية فى عمليات تشغيل نظام الطاقة، حيث تكون مناسبة فى التشغيل لأحمال الذروة. ولها ميزة البدء السريع بسبب عد وجود تسهم الإكزيتون

(Xenon) وهذا عنصر غازى ثقيل خامل عديم اللون يكون فى الهواء ويستعمل فى بعض المصابيح الكهربائية). بسبب سرعة البدء وصغر الحجم، فإن تلك المفاعلات مناسبة لدفع السفن.

استخدام المفاعلات النووية:

الاستخدامات الرئيسية للمفاعلات النووية هى كالاتى:

• إنتاج الحرارة لتوليد الطاقة الكهربائية، الدفع (Propulsion)، العمليات الصناعية واستخدامات أخرى.

• الإمداد بمجال كثيف أو حزم من أشعة النيوترون للتجارب العلمية.

• لإنتاج النظائر المشعة بإشعاع النيوترون.

النظائر المشعة التى تبعث أشعات نشطة وفعالة α ، β ، γ يمكن أن تستخدم كمصادر للحرارة. يتم الحصول عليها من المفاعلات النووية إما كنواتج إنشطار منفصلة أو كنواتج انتقال النيوترون من الأغراض التى يتم إشعاعها.

ناتج طاقة التحلل (Decay product Energy) التى تمتص فى المادة المشعة أو فى مواد تغطيتها وتغليفها (It's Cladding) تتحول إلى حرارة التى يمكن وضعها فى الاستخدام العملى. الميزة الرئيسية لوقود النظير المشع هو أنها تولد الحرارة بمعدل معين ولا تحتاج إلى الانتباه خلال كل عمرها التصميمى، والذى يمكن أن يزيد عن ٥ سنوات.

ولكن وقود النظائر المشعة غير اقتصادى كمصدر للحرارة. التكاليف الأولية عالية، تكاليف الطاقة عالية، تجهيزات استخدامها مكلفة كما أن عمرها المنتج محدود.

مفاعلات الأبحاث والتدريب:

مفاعلات الأبحاث الأولى استخدمت اليورانيوم الطبيعى ولكن المفاعلات الحديثة تستخدم اليورانيوم المخصب كوقود.

مفاعلات حمام السباحة (Swimming Pool Reactors) توفر معدل متوسط التدفق النيوترون (10^{10} إلى 10^{13} نيوترونات/سم²/ث). ولها لب المفاعل معلق فى حوض ماء مفتوح. الماء يعمل كمبرد وكذلك كمهدئ، درع للإشعاع وعاكس للنيوترونات. المستخدمة عادة عناصر الوقود من نوع الألواح، اليورانيوم - ٢٣٥ على الإخصاب.

لمعدل أعلا التدفق النيوترون (10^3 إلى 10^4)، يستخدم عموما نظام تبريد مقفل مع حوض المفاعل يوضع اللب خلال الحوض المحكم القفل والذي يتم ضخ المياه خلاله لحمل الحرارة بعيدا. هذا النوع ليس بسيطا مثل نوع حمام السباحة واللب ليس من السهل الوصول إليه لأغراض الأبحاث. رغم أن اللب صغير لكثافة الطاقة العالية، فإن الحوض يصمم بالطريقة حيث المادة التي يتم إشعاعها لأغراض البحث والاختبار يمكن إيلاجها مباشرة في اللب. بالإضافة فإنه يوجد العديد من الفتحات لأغراض الاختيار، كذلك إنتاج تدفقات عالية، في غطاء تلك المفاعلات.

مفاعلات الأبحاث الأولى باستخدام اليورانيوم المخصب كانت من النوع المتجانس (التي تسمى غلايات الماء) ذلك رغم أن الغليان لم يكن مسموحا به. اللب كان يتكون من غلاف كروي من الصلب المقاوم، بقطر حوالى واحد قدم الذى يحتوى على محلول الوقود المائى. كانت الحرارة يتم إزالتها بواسطة لفائف من مواسير التبريد خلال داخل المحتويات وتدفقات النيوترون العالية نسبيا بالنسبة لمستوى طاقتها ولها درجة عالية من الأمان.

مفاعل الأبحاث بالماء الثقيل له كتلة منخفضة من المادة الانشطارية ومعدل تدفق على من النيوترون الحرارى أكثر من مفاعل الماء الخفيف المصمم لنفس الطاقة. توزيع تدفقات النيوترون الحرارى غير اللب مستوى نسبيا وبالتالي فإن هذا النوع يوفر حجم تجريبى كبير عند مستوى تدفق على نسبيا.

الفصل الثاني عشر

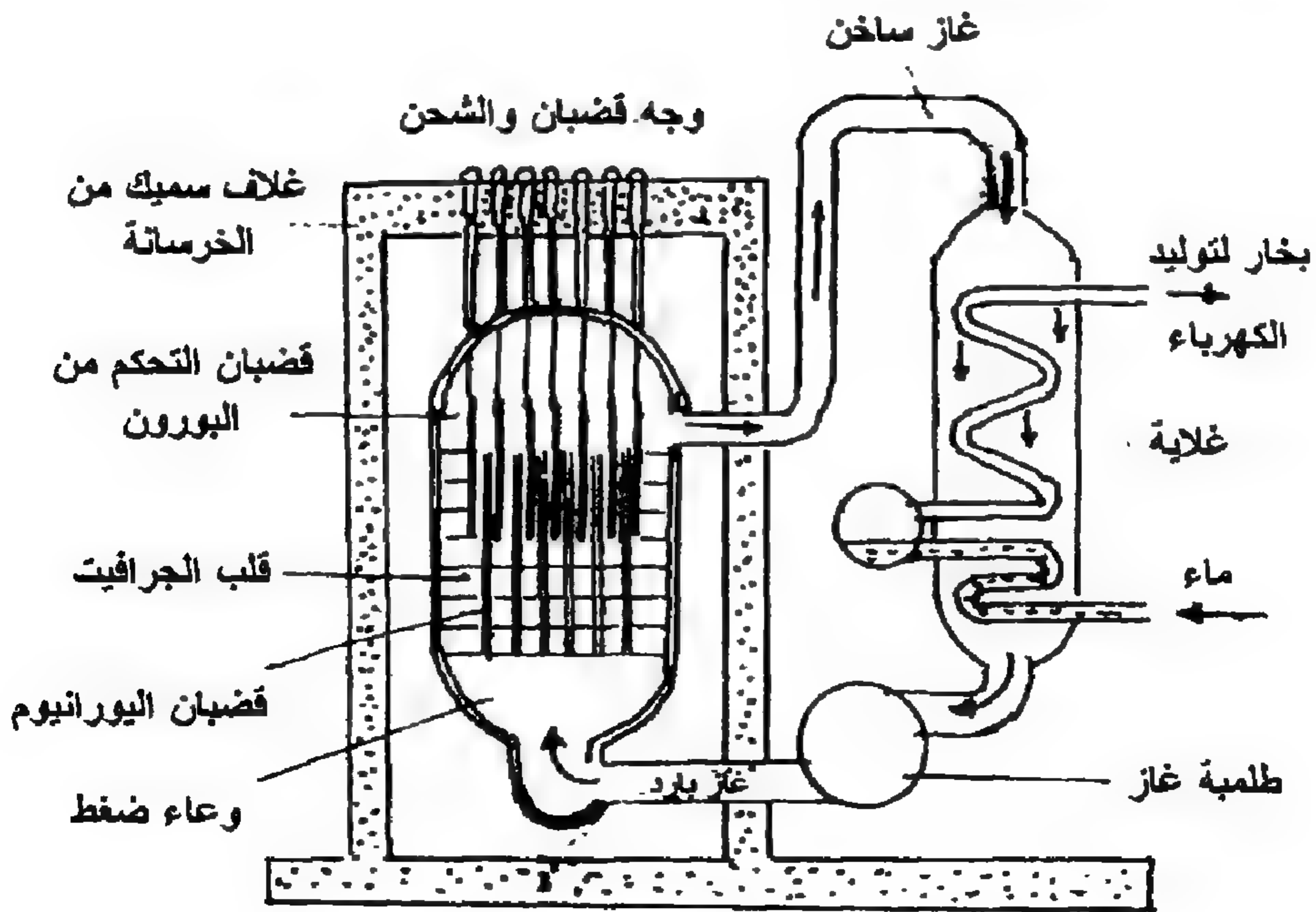
أنواع المفاعلات النووية

تقسيم المفاعلات النووية:

نظراً للاستخدامات العديدة للمفاعلات، وكذلك الطرق المختلفة لإنشائها فقد تم تقسيم المفاعلات بطرق مختلفة. بعض التقسيمات مبنى على الاستخدام الرئيسى للمفاعل، والآخر مبنى على مجال الطاقة للنيوترونات فى المفاعل، وأخرى طبقاً لمختلف الوظائف الذى تقوم به، ولذلك فإنه لتقسيم المفاعلات فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار كل العوامل الثلاث والبعض الآخر ووصفها.

تقسيم المفاعلات طبقاً للاستخدام هو كالاتى:-

- مفاعلات الطاقة.
 - مفاعلات الأبحاث.
 - مفاعلات التوليد.
 - مفاعلات الإنتاج.
- ١- مفاعلات الطاقة: شكل (١٢/١).



شكل (١٢/١) مفاعل التبريد بالغاز

يصمم هذا المفاعل للحصول على أقصى حرارة مفيدة من انشطار الوقود النووي. عندما تكون مصممة لغرض واحد لإنتاج الحرارة عند أعلا معدل ممكن، فإن المفاعل يسمى مفاعل الطاقة فقط (Power - Only). ولا يوجد أى تدبير فى هذا النوع لتوليد أو لإنتاج النظير المطلوب. مفاعلات الطاقة ذات الغرض المزدوج تصمم ليس فقط لإنتاج الطاقة كهدف أول، ولكن لمنتج آخر كذلك. بعض مفاعلات الطاقة تصمم كمولدات، تلك القادرة على إنتاج مادة أكثر انشطارات تزيد عن ما تحرقه فى عملية الانشطار. لذلك، فالنوع الآخر من المفاعلات ذات الغرض المزدوج، رغم أنها ليست مفاعلات مولدة حقيقة، إلا أنها تنتج بعض من مواد الانشطار الجديدة أو النظير المطلوب. المفاعلات مزدوجة الغرض تشمل ضمن بنائها مكونات إضافية التى تمكنها من التوليد (أو إنتاج النظير). بالإضافة إلى إنها تتطلب تجهيزات إضافية فى وحدة استعادة الوقود للفصل الكيميائى وتنقية المادة الجديدة المنتجة الانشطارية أو نظائر خاصة. بسبب تلك العوامل، فإن المفاعلات ذات الغرض المزدوج ليست مفضلة للنوع المتحرك من المفاعلات حيث يكون نسبة خرج الطاقة على وزن المفاعل عند أقصاها. ولكن، لمحطات الطاقة الثابتة تكون مفاعلات الغرض المشترك مفيدة لأن المواد الانشطارية الجديدة والنظائر هى نواتج ثمينة ويمكن أن توازى تكلفة الإنتاج للطاقة النووية. ولكن حيث يكون وزن وحجم المفاعلات أكثر أهمية، كما فى حالة المفاعلات لدفع الطائرات أو القطع البحرية، فإن مفاعلات الطاقة فقط هى الاختيار المناسب. بعض من مصممي المفاعلات يرى أنه حتى فى حالة إنشاء المفاعلات لمحطات الطاقة الثابتة الضخمة، فإن مفاعلات " الطاقة فقط " قادرة على الحصول على طاقة نووية اقتصادية مقارنة بمفاعلات الغرض المزدوج (Dual Purpose).

ب - مفاعلات الأبحاث؛

الغرض الرئيسى منها هو الإمداد بتدفقات عالية من النيوترونات لأغراض الأبحاث التجريبية.

ج - مفاعلات التوليد؛ (Breeder Reactors)

الغرض الرئيسى من هذه المفاعلات هو تحويل مادة الإخصاب (Fertile Material) إلى مادة انشطارية بمعدل أسرع من معدل استنفاد المادة الانشطارية.

د - مفاعلات الإنتاج:

وهذه تصمم خصيصا لإنتاج النظائر المطلوبة.

كذلك تنقسم المفاعلات إلى السريعة المتوسطة (فوق الحرارى). والحرارى (البطيئة) طبقا لمجال الطاقة للنيوترونات المستخدمة لإحداث الانشطار. المعلومات عن مجال طاقة النيوترونات للمفاعل توفر المعلومات الأساسية بالنسبة لمفاعل معين. على الجانب الآخر، مثل هذه المفاعلات يكون من الصعب التحكم فيها، لذلك فإن الاحتياط الزائد مع توفير آليات تحكم للعمل السريعة وذات الحساسية العالية يكون مطلوباً. المفاعل السريع يمكن بناؤه من مجال كبير لاختيار المواد مقارنة بالمفاعل الحرارى، لأن معظم العناصر لها " عينة نيوترون سريع " منخفضة جداً.

● المفاعل المتوسط يجب أن يكون له كمية معينة من مادة التهدئة بهدف التهدئة الجزئية للنيوترونات إلى مجال الطاقة المتوسط. لذلك، فإن المفاعل المتوسط يحتتمل أن يكون أكبر من المفاعل السريع، ولكن أصغر مقارنة بالمفاعل الحرارى لنفس المعدل. المفاعلات المتوسطة أسهل في التحكم مقارنة بالمفاعلات السريعة، ويكون لها مميزات مواد الإنشاء الكثيرة.

● نوع المفاعلات الأكثر شيوعاً هو المفاعل الحرارى أو المفاعل البطيء. وهو أسهل الأنواع الثلاثة في التحكم ويمكن تصميمه على اليورانيوم الطبيعى أو المخصب قليلاً، وهو السبب الرئيسى لتفضيله. الميزة الأخيرة هامة للدول التى ترغب فى بناء مفاعلات طاقة ولكنها لا تمتلك الوسائل المتاحة لإنتاج اليورانيوم الطبيعى أو المخصب قليلاً يعنى أن تكلفة الوقود لهذه المفاعلات يمكن أن تكون منخفضة نسبياً مقارنة بالوقود المخصب.

٢ - طريقة أخرى لتقسيم المفاعلات النووية:

هى وصف كيفية انتشار الوقود خلال لب المفاعل (أى طبقاً لتجهيز مهدئ الوقود) وينقسم إلى المفاعلات المتجانسة والغير متجانسة.

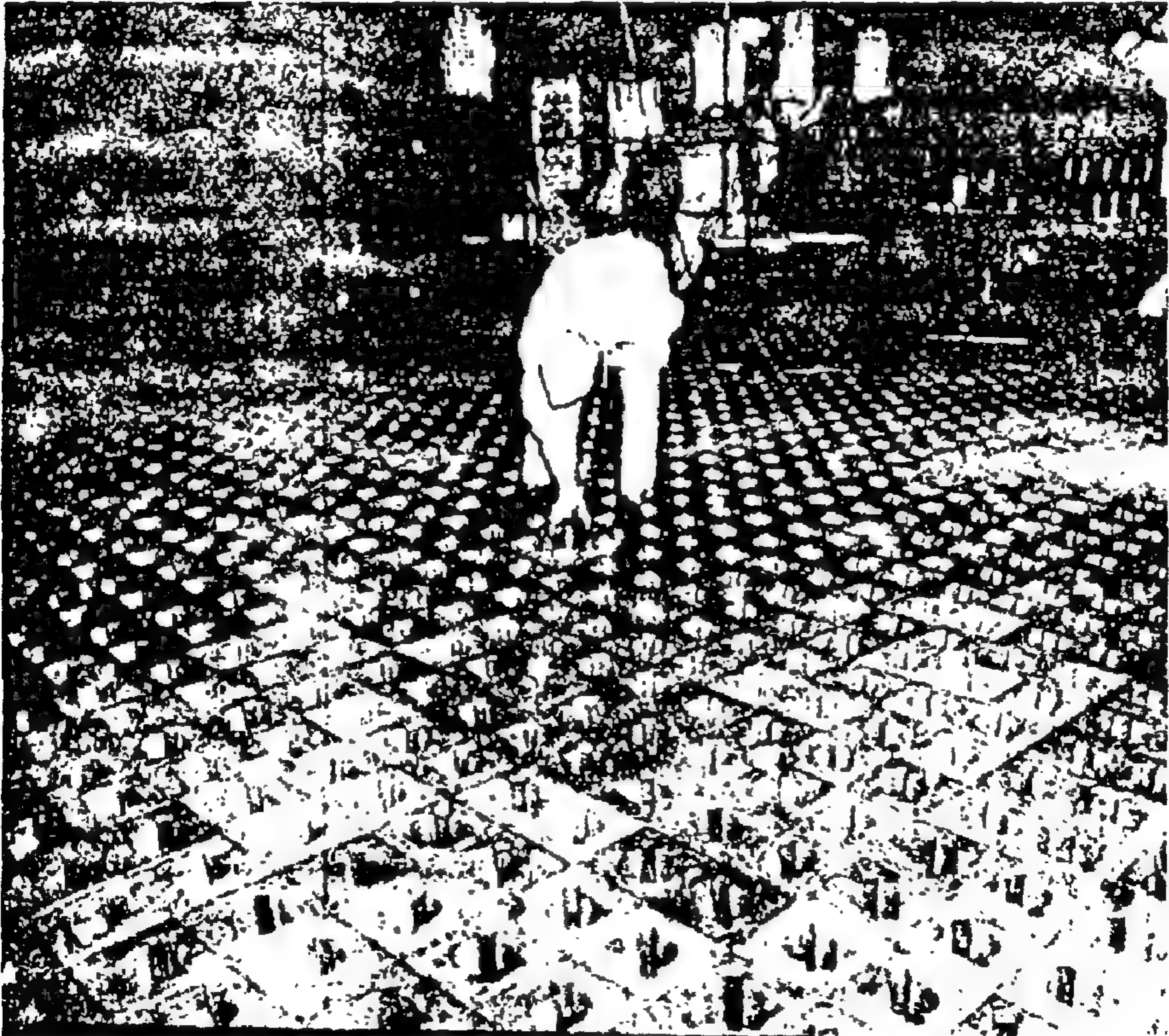
● فى المفاعلات الغير متجانسة: يكون الوقود فى صورة أشكال منفصلة وغير مترابطة، مع الفواصل المناسبة للمهدئ والمبرد، أى أن توزيع الوقود خلال المفاعل يكون غير مستمر.

- فى المفاعلات المتجانسة: يكون الوقود مخلوطا جيدا مع إما المبرد أو مع المهدئ أو مع كليهما. بالطريقة حيث لا يقل شكل مستقل للوقود يمكن تأكيده أى أن توزيع الوقود يكون مستمرا خلال لب المفاعل.

مفاعلات الوقود الصلب المتجانسة ممكنة، حيث تكون مادة الوقود فى شكل مفتت مع الخلط (أو فى شكل سبيكة) مع مادة التهدة. ولكن معظم المفاعلات التى تعمل تكون من النوع الغير متجانس.

أ - تقسيم المفاعلات طبقا للمهدئات:

- مفاعلات التهدة بالماء.
- مفاعلات التهدة بالماء الثقيل.
- مفاعلات التهدة بالجرافيت شكل (١٢ / ٢)



- مفاعلات التهدة بالجرافيت.
- مفاعلات التهدة بالهيدروكربونات أو بالكبيرات (Carbides).
- ب - طبقا لمادة التبريد المستخدمة لسحب الحرارة من لب المفاعل تنقسم إلى:
- مفاعلات التبريد بالهواء، الهيليوم، أو ثانى أكسيد الكربون.

• مفاعلات التبريد بالماء أو بالماء الثقيل.

• مفاعلات التبريد بالسائل المعدني.

في مفاعلات التبريد بالغاز، تكون كمية الغاز المطلوبة لسحب الحرارة كبيرة جدا لذلك فإن هذه تكون مكلفة. بالإضافة إلى أن الغازات لها قوة حمل حراري ضعيفة. مفاعلات التبريد بسائل المعدن مناسبة ذلك لأن المعادن لها درجة حرارة غليان عالية.

ج - طبقا للوقود المستخدم في المفاعل تنقسم المفاعلات إلى:

- المفاعلات حيث الوقود من اليورانيوم الطبيعي.

- المفاعلات حيث الوقود من اليورانيوم المخصب.

- المفاعلات حيث الوقود من البلوتونيوم.

- المفاعلات بالوقود من اليورانيوم - ٢٢٣.

د - طبقا لشكل لب المفاعل (طبقا لاعتبارات عملية واقتصادية):

- مفاعل مكعب.

- مفاعل كروي.

- مفاعل أسطواني.

- مفاعل ثماني الزوايا والأضلاع (Octagonal).

كذلك يمكن تقسيم المفاعلات كمفاعلات ثابتة أو متحركة طبقا لاستخدامها إما

كمحطة طاقة مركزية أو في وحدات الدمج.

٣ - أنواع المفاعلات النووية:

المفاعلات الأكثر شيوعا في الاستخدام تحتوي على وقود وماء (خفيف) طبيعي في

أوعية ضغط ضخمة. نوع المفاعل هذا يسمى مفاعل الماء الخفيف

(Light Water Reactor - LWR). وهو يعمل عند ٧٠ - ١٥٠ كجرام/سم^٢ عند ٣١٥°م.

بسبب درجة حرارة التشغيل المنخفضة، فإن الكفاءة الكلية لهذا المفاعل هي ٣٢٪.

النوع الآخر هو مفاعل الماء المضغوط حيث فيه لا يتم غلي الماء ولكن يمر إلى مبادل

حراري الذي ينتج البخار في حلقة منفصلة.

النوع الآخر هو مفاعل الماء المغلي حيث البخار من وعاء الضغط يمر مباشرة خلال

التربينات.

مفاعل المملكة المتحدة المتقدم بتبريد الغاز استبدل غاز ثنائي أكسيد الكربون بالماء كمبرد. السائل الأولي يسلم الحرارة إلى حلقة ثانية من الماء الذى يتحول إلى البخار عند حوالي ٥٤٠°م. لذلك فإنه يمكن الحصول على كفاءة أعلا من هذا المفاعل. مفاعل آخر هو مفاعل الغاز ذو درجة الحرارة العالية الذى يشبه مفاعل التبريد بالغاز ولكن يستخدم كسائل أولى الذى يمتص الحرارة من عناصر الوقود المغطاة بالجافيت. باستخدام هذا الغاز الخامل فإنه يتم خفض مشاكل التآكل، التلف الإشعاعي، الإشعاعية. يتم الحصول على كفاءة أعلا بسبب درجة حرارة التشغيل الأعلى. الوقود المستخدم فى مفاعل الغاز عند درجة الحرارة العالية يجب تخصيبه كلية وهو يعمل على دورة الثوريوم - يورانيوم-233°.

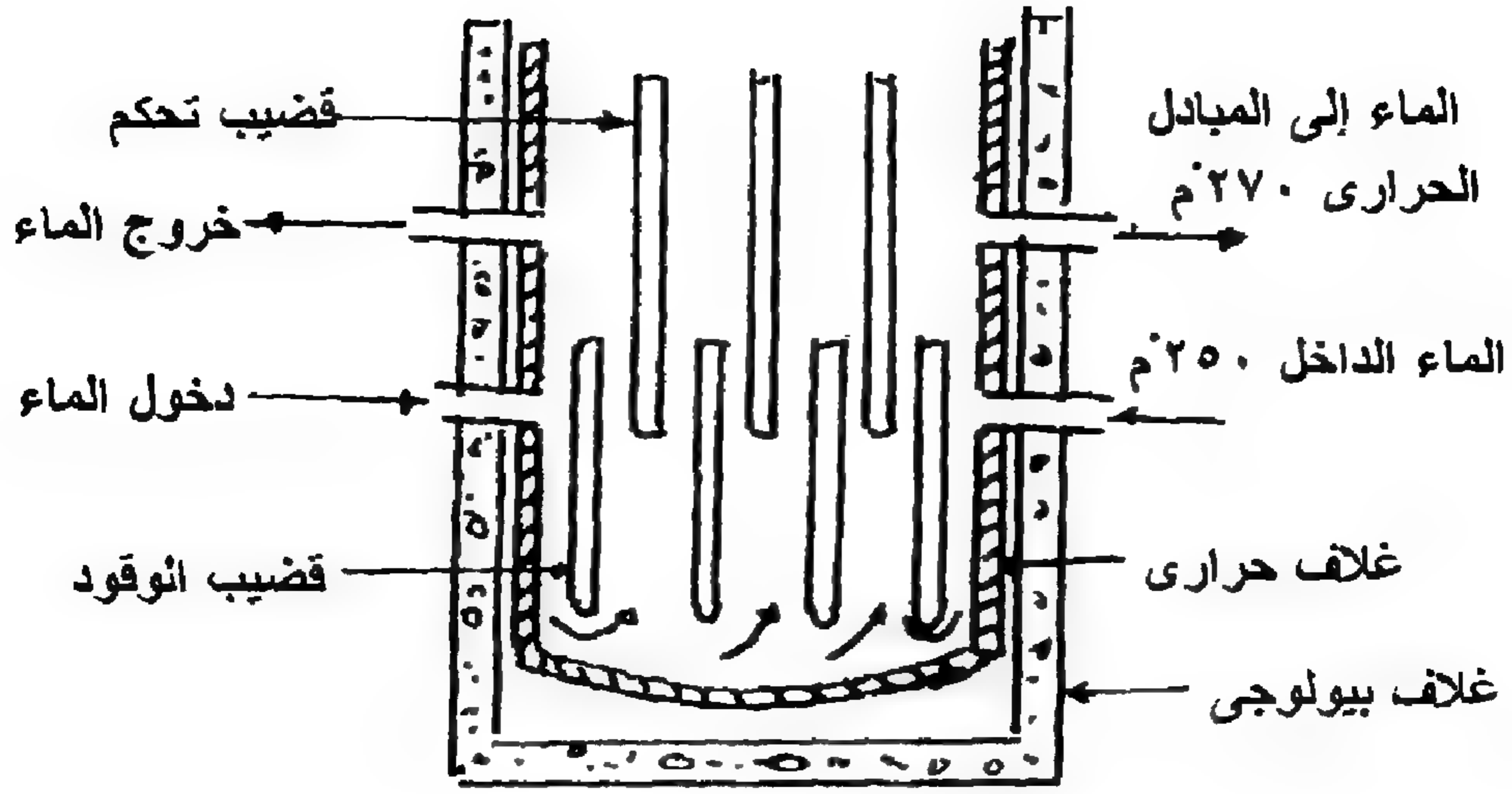
مفاعل آخر معروف جيدا هو المفاعل الكندى. وهو من نوع الإنشاء بما سورة الضغط ويسمح بإعادة التغذية بالوقود على الخط. يمكن أن يعمل باليورانيوم الطبيعى ويتم تهديته وتبريده بالماء الثقيل.

لقد حددت الوكالة الأمريكية للطاقة الذرية كل المفاعلات حيث لا تزيد طاقتها عن ٣٨٠٠ ميجاوات من حرارة المفاعل. وطبقا لهذا فإن مفاعلات الماء الخفيف ذات كفاءة ٣٢٪ أقصى إنتاجها يكون ١٢٠٠ ميجا وات، مفاعلات الغاز بدرجة الحرارة العالية ذات كفاءة ٤٠٪ سوف تكون حدودها هي ١٥٠٠ ميجا وات.

بعض المفاعلات الهامة سيتم وصفها كما يلى:

أ - مفاعل الماء المضغوط: Pressurised Water Reactor

مفاعل الماء المضغوط هو أحد أكثر المفاعلات استخداما. يتم تغذيته بالوقود باستخدام أكسيد اليورانيوم المخصب قليلا والتغطية (التغليف - Clad) بالصلب المقاوم أو بسبيكة الزركونيوم. لب (قلب) المفاعل يتم تبريده بالماء والذى يعمل كذلك كمهدئ. ماء التبريد بعد تسخينه فى لب المفاعل، يولد بخار فى الغلاية. يمكن من المخطط الموضح فى الشكل (١٢ / ٣) يوجد مسارين المسار الأولى الذى فيه مياه التبريد المنضغطة تدور والمسار الثانى الذى يتم فيه توليد البخار.



شكل (١٢/٣) المفاعل بضغط الماء

المميزات الرئيسية لمفاعل الماء المضغوط هي كالاتى:

- يعتبر الماء غير مكلف مقارنة بالمبردات والمهدئات الأخرى.
- تقنية هذا المفاعل تم تطويرها جيدا.
- الماء مادة تبريد ذات كفاءة جيدة بسبب طاقته الحرارية العالية ومعامل الانتقال الحرارى العالى.
- الماء مهدئ جيد.

العيوب الرئيسية هي كالاتى:

- أهمية استخدام الضغط العالى للحصول على درجة حرارة عالية مناسبة بدون غليان .
- لذلك فإن نظم المفاعل يلزم تصميمه للضغط المرتفع والماء يلزم ضخه لرفع الضغط. هذه العوامل تزيد التكاليف الأولية للمعدة وكذلك تكاليف التشغيل.
- الوقود يجب على الأقل إخصابه قليلا (وفى حالات أخرى يكون الإخصاب عاليا).

ب - مفاعلات الماء المغلى: Boiling Water Reactors

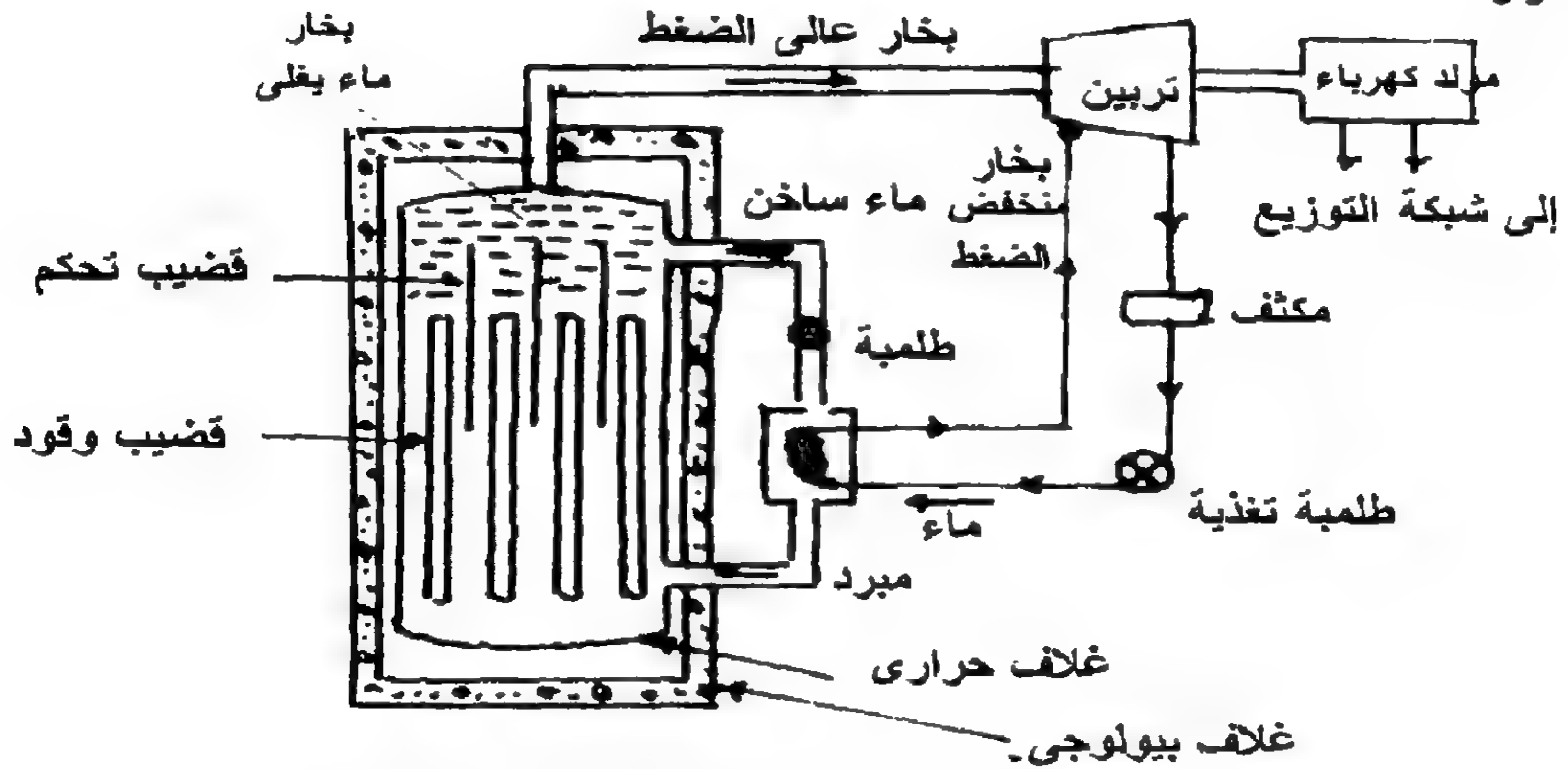
فى مفاعل الماء المضغوط، يتم منع غليان الماء فى اللب بالضغط. فى مفاعل الماء المغلى يسمح للمياه بأن تغلى وذلك بتبريده. هذا يمكن باستخدام ضغط أقل كثيرا، ليكون حوالى ٧٠ كجرام/سم^٢ مقارنة بضغط ١٣٥ كجرام/سم^٢ المفاعل الماء المضغوط. البخار الناتج يتم استخدامه مباشرة لتشغيل التربينات. الوقود المستخدم هو نفسه مثل ذلك فى مفاعل الماء المضغوط أى أكسيد اليورانيوم المخصب والتغطية بالصلب المقاوم أو بالزركونيوم.

مميزات مفاعل الماء المغلى :

- إمداد البخار للتربينات يكون ذو ضغط عالٍ.
- نظرا لتحول الماء إلى بخار فى مفاعل وعاء الضغط نفسه فإنه لا تكون هناك حاجة إلى مبادلات معينة.
- يلزم فقط طلبات صغيرة للتغذية بكمية من المبرد السائل.
- تدفق البخار يتم التحكم فيه بالحمل الحرارى الطبيعى. الماء المكثف يكون قليلاً ويمكن عودته إلى المفاعل باستخدام طلمبة تغذية صغيرة.

السلبات الرئيسية لمفاعل الماء المغلى :

عند درجات الحرارة العالية يمتلئ قلب المفاعل بفقااعات البخار والتي تعمل بغير نظام. بسبب ضغط فقااعات البخار، فإن نسبة التهدة للماء تقل ويقل معامل الانتقال الحرارى.



شكل (١٢/٤) مفاعل الماء المغلى

ج - مفاعل درجة الحرارة العالية والتبريد بالغاز:

High Temperature Gas Cooled Reactor

عند استخدام الغاز كمبرد يوفر الحصول على درجة حرارة عالية عند ضغط أقل وخفض مشاكل التآكل. ولكن السلبية الرئيسية للغاز هي طاقتها الحرارية قليلة وضعف معامل انتقالها الحرارى. بسبب انخفاض طاقتها الحرارية ومعامل الانتقال، فإن نوعية الغاز المطلوبة للتبريد كبيرة جدا ويلزم توفير مرواح نفخ قوية (Blower). عند استخدام الماء للتبريد، فإن طاقة الضخ المطلوبة تكون ٥ - ٦٪ من الطاقة، ولكن مع الغاز تكون ١٩ - ٢٤٪. الوقود المستخدم عموما هو كربيد اليورانيوم على الإخصاب المخلوط مع كربيد

الثوريوم والمبطن بالجرافيت. المهدئ المستخدم هو كذلك الجرافيت. بعض المفاعلات تستخدم اليورانيوم الطبيعي مع الجرافيت كمهدئ. الضغط في النظام الأولى هو من ٢٠ إلى ٢٤ كجرام/سم^٢ ودرجة حرارة خروج المبرد هي حوالي ٧٦٠°م.

أول مفاعل بتبريد الغاز كان (Calder Hall Gas). هذا المفاعل تم تطويره لغرض مزدوج، لتوليد الكهرباء ولإنتاج البلوتونيوم للأغراض العسكرية.

الدائرة الأولى تتكون من وعاء ضغط ضخ من الصلب الكربون المحتوى على ١٠٠٠ طن من لب الجرافيت، وأربع حلقات متوازية من المبرد، كل بمبادل حرارى ضخ للبخار وثانى أكسيد الكربون ونافخ بطاقة ٢٠٠ حصان يعمل بالتيار المتغير. درجة حرارة جلد تلك العناصر يظل عند ٤٠٠°م. قضبان التحكم هي من صلب البورون المبطن بالصلب المقاوم.

غاز التبريد المستخدم فى مفاعل درجة الحرارة المرتفعة والتبريد بالغاز يجب أن يكون له اقتصاديات نيترون عالية أى أن مساحة مقطع اقتناص النيوترون يجب أن تكون صغيرة، وكذلك طاقة حرارية عالية. على هذا الأساس، فإن الهيليوم هو الأكثر مناسبة، ولكن نظرا لأن ثانى أكسيد الكربون رخيص فقد استخدم فى مفاعل الغاز البارد.

د - مفاعل التبريد بالغاز : (The Hinkley Point)

هذا مفاعل آخر للتبريد بالغاز الذى تم تطويره فى إنجلترا. الظاهرة فى هذا المفاعل هي لبه الكروى. نظرا لأن نسبة السطح إلى الحجم تكون أدناها عند الشكل الكروى، فإن حجمها الحرج يكون أصغر كثيرا عن الأشكال الأخرى. اللب ينشأ من كتل الجرافيت وتوضع قضبان الوقود فى قنوات الوقود. الجرافيت يعمل كمهدئ وعاكس. الوقود هو اليورانيوم الطبيعي فى شكل قضبان. المبرد هو ثانى أكسيد الكربون عند ضغط ٣٠ كجرام/سم^٢. درجة حرارة خروج الغاز هي ٣٣٦°م.

هـ - مفاعل التهدة بالماء الثقيل : Heavy water Moderator Reactor

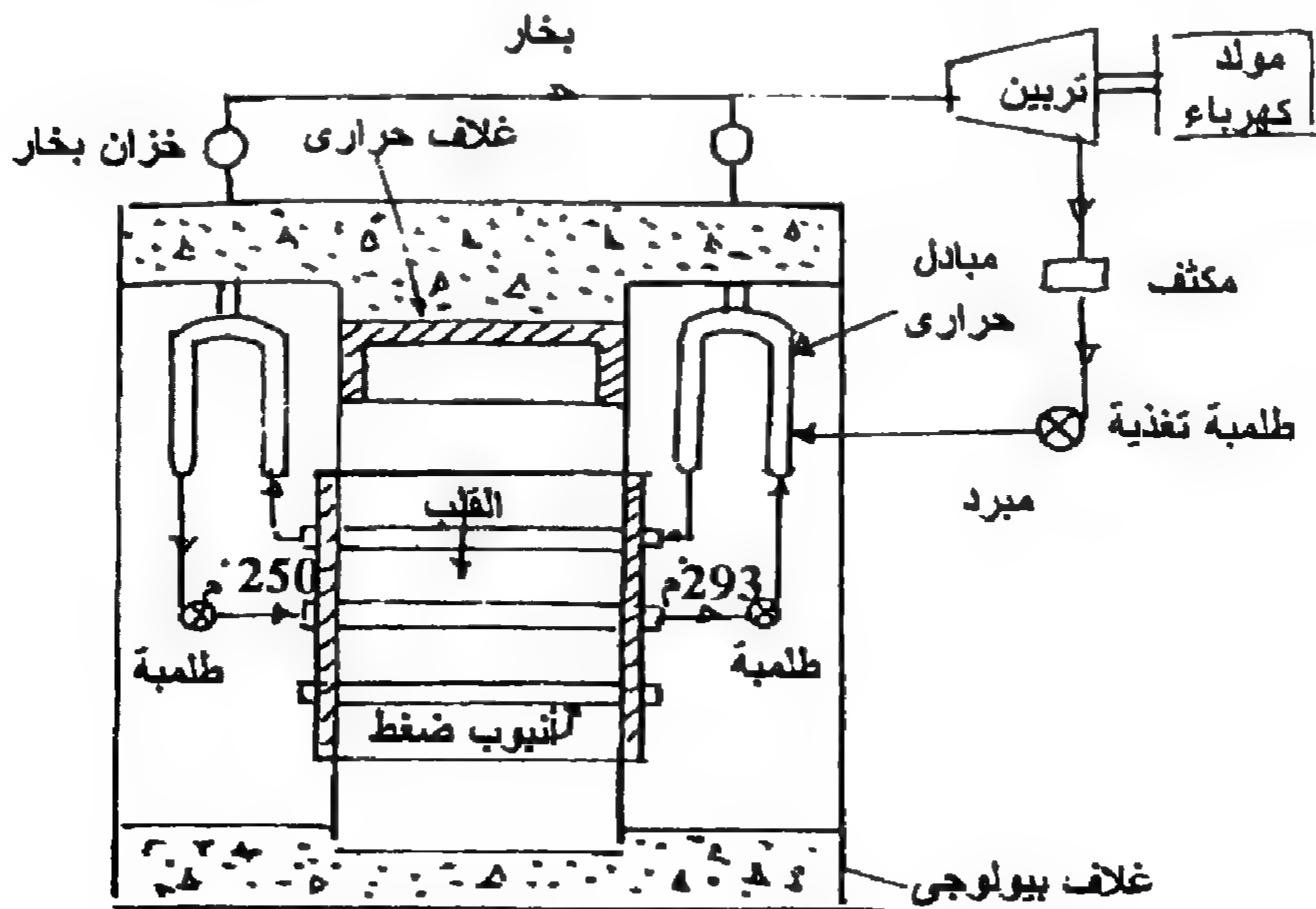
كمهدئ، الماء الثقيل له تأثير يزيد عن الماء. الماء الثقيل أكثر تأثيرا فى تبطين النيوترون وله مساحة مقطع امتصاص أصغر. لذلك، فإن مفاعل التهدة بالماء الثقيل له معامل مضاعفة أعلا، حجم أصغر ومعدل تدفق أعلا للنيوترونات فى اللب. كذلك، عند استخدام الماء الثقيل كمهدئ فإن إنتاج Pu-239 الذى هو وقود كذلك يكون أعلى.

٤ - مفاعل كاندو : (Candu Reactor)

هذا المفاعل يستخدم الماء الثقيل كمهدئ ومبرد وعاكس. فى مفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء المغلى. يصمم كل وعاء المفاعل بالضغط العالى. ولكن فى مفاعل كاندو، كل وعاء المفاعل غير مصمم للضغط العالى، المصمم فقط للضغط العالى هو نظام التبريد فقط. لهذا فإن تكاليف المفاعل أقل كثيرا. المفاعل يتكون من حوض الصلب الأفقى الذى فيها مواسير الضغط تسير أفقيا من نهاية إلى أخرى. مثل هذه أنابيب الضغط هى ٣٠٦. عناصر الوقود توضع فى أنابيب الضغط. الفواصل بين أنابيب الضغط يتم ملؤه بالمهدئ (الماء الثقيل).

أنبوبة الضغط تصنع من (Zir Calloy - 2). داخل أنبوبة الضغط توجد أنبوبة أخرى تعرف بأنبوبة قناة الوقود. خلال أنبوبة قناة الوقود، يتدفق المبرد من الماء الثقيل فوق عنصر الوقود. للعزل الحرارى للمهدئ من المبرد خلال الفاصل أنبوبة قناة الوقود وأنبوبة الضغط. فإن الهواء يتدفق بسرعة بطيئة. يساعد هذا فى خفض درجة حرارة المهدئ. فى كل أنبوبة ضغط يوجد اثنى عشر حزمة وقود، وكل حزمة تحتوى تسعة قضبان من أكسيد اليورانيوم. بتجهيز أنبوبة الضغط مزود ماكينة تعبئة عند احد النهايات لتعبئة الأنبوبة.

يتدفق المبرد خلال الأنابيب عند ضغط ٧٧,٥ كجرام / سم^٢ وعند ٢٧٥°م. المفاعل له ثمانية مبادلات حرارية التى يتم فيها توليد البخار. البخار الذى يتم توليده يكون جافا ومشبعاً وعند ضغط ٢٨,٢ كجرام / سم^٢. شكل (١٢ / ٥) يوضح مفاعل المكثف.



شكل (١٢ / ٥) مفاعل التكهيف

٥ - مفاعل التبريد بالمعدن السائل : Liquid Metal Cooled Reactor

الكفاءة الحرارية للمفاعل يمكن زيادتها بزيادة درجة حرارة التشغيل. عند استخدام معدن سائل مثل الصوديوم، يمكن الحصول على درجة حرارة مرتفعة جدا بدون انضغاط. كذلك فإن سائل المعادن يكون مجال كفو للانتقال الحرارى.

فى معظم الحالات سائل المعدن المستخدم عادة هو الصوديوم السائل (درجة حرارة انصهاره ٨٨٢°م). بالإضافة إلى ذلك فإن له ميزة انخفاض مقطع امتصاص الصوديوم. فى مفاعلات التبريد بالصوديوم، فإن المهدئ المستخدم هو الجرافيت يحافظ على نقائه العالى وقوته الميكانيكية عند درجة الحرارة العالية التى تكون موجودة. لا يمكن استخدام الماء الثقيل ذلك لأنه يلزم انضغاطه بدرجة عالية لمنع الغليان. يمكن استخدام البريليوم ولكنه مكلف.

من الضرورى فى نوع المفاعل هذا أن يتم المحافظة على عزل كل من الصوديوم والجرافيت كل منهما عن الآخر. إذا حدث أن التصق الجرافيت مع سائل الصوديوم، فإن مقطع امتصاصه للنيوترونات يزداد وتقل قوته الميكانيكية. يمكن عزل كليهما بتعليب كل كتلة جرافيت بالزركونيوم أو بتدفق المبرد خلال الأنابيب. عند درجة الحرارة العالية، تتأثر اقتصاديات النيوترون للمفاعل عند وصول متوسط الطاقة المصاحبة للنيوترون ذروه امتصاص الرنين.

لهذا، فإن تحول U^{238} إلى Pu^{239} يكون منخفضاً ذلك لأن نواه Pu^{239} تمتص النيوترونات وتتحول إلى Pu^{249} الذى هو غير انشطاري. ولكن المفاعل مناسب فى تحويل الثوريوم إلى U^{233} .

تجربة مفاعل الصوديوم الذى تم بناؤه بواسطة الولايات المتحدة هو بالتبريد بالصوديوم والتهدة بالجرافيت. وعاء المفاعل مصنوع من أسطوانة من الصلب المقاوم الموضوعة فى حوض خارجى من الصلب الكربونى. لب المفاعل عبارة عن مصفوفة رأسية من منشورات الجرافيت. كل منشور له ثقب مركزى الذى يعمل كقناة لتدفق المبرد من سائل الصوديوم. قضبان الوقود توجد خلال منشورات الجرافيت. الوقود المستخدم هو اليورانيوم المخصب (حتى ٩٣٪). قضبان التحكم من البورون أو النيكل.

مبرد الصوديوم يصبح مشع نتيجة تصادم النيوترون فى اللب. لتجنب أخطار الإشعاع. يوجد منحنين للصوديوم. المنحنى الأول للصوديوم يوجد خلال الغلاف البيولوجى. المنحنى الثانى للصوديوم يولد بخار ويوجد خارج الغلاف البيولوجى. فى مفاعلات التوليد، يمكن استخدام الصوديوم فقط كمبرد لأن خرج الطاقة لمفاعل التوليد يكون عاليا جدا.

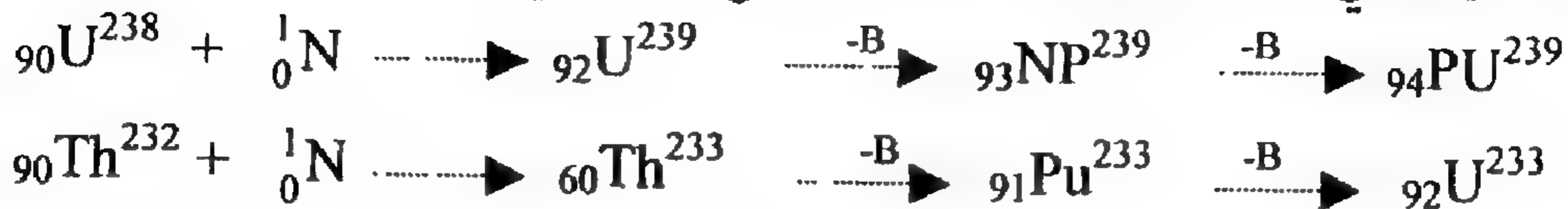
٦ - المفاعل المولد السريع: fast breeder Reactor

المفاعلات الحرارية لا تستخدم بكفاءة الوقود النووى لأنها قادرة فقط على استخلاص حوالى ١٪ من إمكانيات الطاقة فى اليورانيوم الطبيعى والذى يحتوى مجرد ما قدرة ٠,٧١٪ من مادة انشطارية أى U^{235} ، الباقي يورانيوم U^{238} غير انشطاري. الطاقة المتاحة فى U^{238} يمكن استخلاصها باستخدام المفاعل المولد وذلك بتحويله إلى البلوتونيوم الذى هو قابل للانشطار. المفاعل المولد يمكن كذلك أن يحول الثوريوم الوفير إلى U^{233} ، أى مادة انشطارية أخرى. فى المفاعلات الحرارية، تشكل المادة الانشطارية كحد أقصى ٣٪ (فى اليورانيوم المخصب) بينما فى المفاعل السريع، فإن كل الوقود انشطاري.

المفاعل يسمى المولد السريع لأنه يستخدم النيوترونات السريعة للانشطار وتوليد (إنتاج) وقود انشطاري يزيد عن ما يستهلكه. مفاعل التوليد أكثر سخونة عن المفاعل العادى. كثافة الطاقة أعلا بكثير. قضبان الوقود تكون معبأة متلاصقة والحرارة الناتجة لوحدة الحجم تكون أضعاف كثيرة عن تلك للمفاعل الحرارى. فى مفاعل التوليد، يتم الحصول على التوليد بجمع كلا من المواد الانشطارية والخصبة (Fissionable And Fertile) فى قلب المفاعل فى الظروف التى توفر ليس فقط نيوترونات كافية لنشر التفاعل المتسلسل فى المادة الانشطارية ولكن كذلك ما يكفى لتحويل المادة الخصبة إلى مادة انشطارية بما يزيد عن الموجود أصلا.

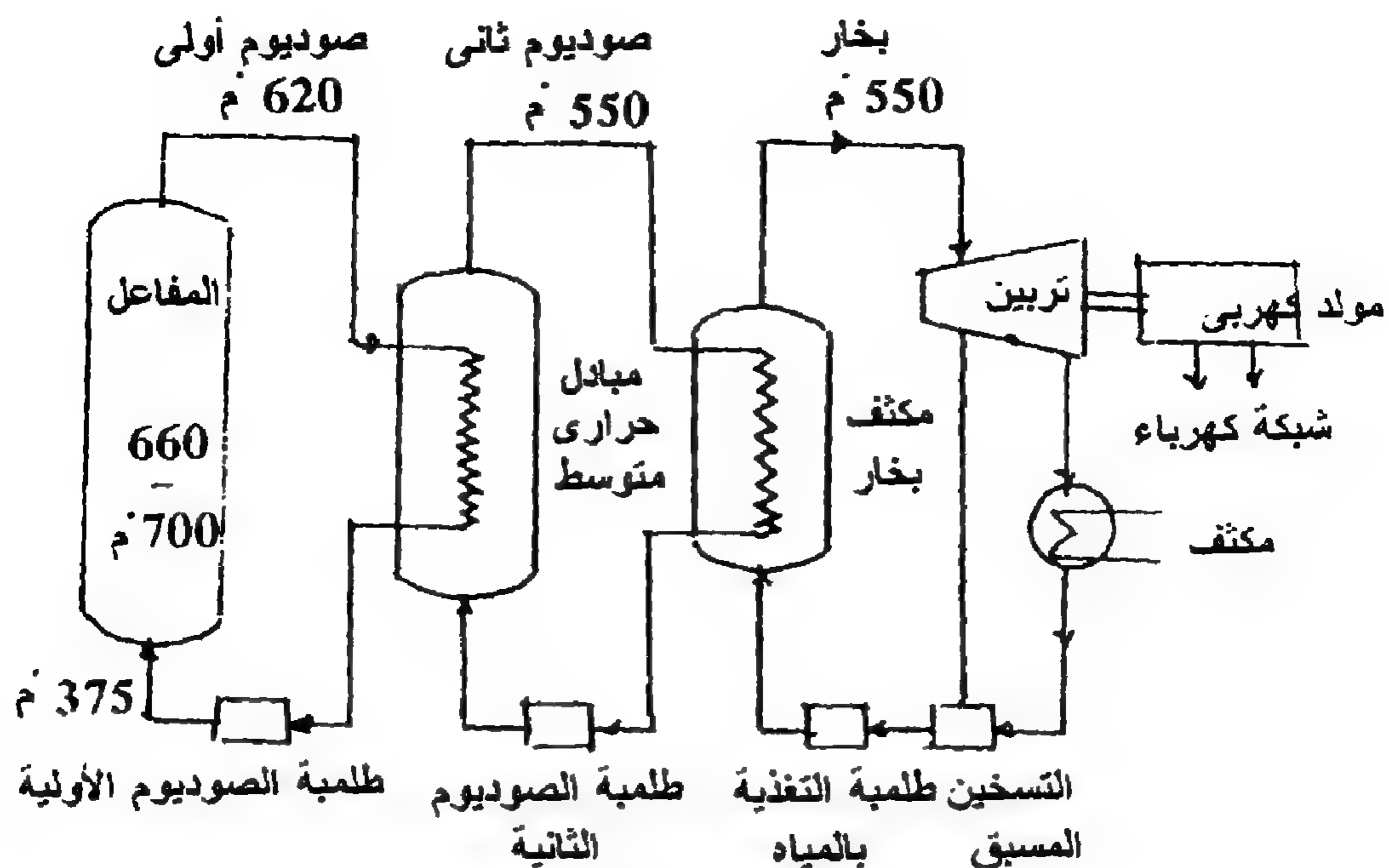
عادة مفاعلات التوليد، تعمل عند درجات الحرارة الأعلى عن المفاعلات التجارية الحالية ولذلك فلها كفاءة حرارية أعلا، تكلفة الطاقة أقل حساسية إلى تكلفة مادة اليورانيوم الخام وأخيرا فغننا قدرة على إنتاج مادة انشطارية $U-233$ من الثوريوم ويمكنها تحويل معظم المواد الغير انشطارية $U-238$ إلى اليورانيوم الطبيعى ($U-238$ يمثل ٩٩,٣٪ من اليورانيوم الطبيعى) إلى وقود انشطاري جديد $Pu-239$. لذلك فإن المولد يمكنه الإمداد بالوقود النووى بمعامل لا يقل عن ١٠٠.

عدد النيوترونات المنطلقة لكل نيوترون ممتص يعتمد على نوع الوقود وكذلك على مجال طاقة النيوترون . فى المولد يلزم لا يقل عن اثنين نيوترون لكل انشطار - أحدهم لاستمرار التفاعل المتسلسل والآخر لتوليد وقود جديد من المادة الخصبة. Pu-239 هو أحسن وقود لعمل مفاعل التوليد عند طاقات نيوترون سريعة "Fast"، بينما U-233 هو الأفضل لنفس العمل عند طاقات نيوترون أقل نسبياً. دورتا توليد الوقود النووى تشمل تحول النظير الخصب U-233 و Th-232 على التوالى إلى Pu-239 ، U-233 بامتصاص النيوترونات وبالتالي تآكل أشعة بيتا كما هو موضح فى الآتي :



المفاعلات المستخدمة لدورة كل من U-238 إلى Th-232 و U-233 إلى U-233 تكون إما إنها مبنية أو أن تكون فى سبيلها للبناء، رغم الجهد الرئيسى المتبادل كان على مفاعلات التبريد بالمعدن السائل التى تستخدم دورة Pu-239 / U-238. دورتا التوليد تلك تختلف فى أن PU-239 ينتج معظم النيوترونات فى المفاعلات المصممة للعمل على نيوترونات سريعة عالية السرعة، بينما U-233 تنتج معظم النيوترونات أثناء الانشطار الذى سببه النيوترونات ذات السرعة الأقل.

مفاعلات التوليد يتم الحكم عليها بالكفاءة التى يمكن بها إنتاج وقود يزيد عن ما تستهلكه. وهذا يعبر عنه " مضاعفة الزمن " " Doubling Time " أو الزمن اللازم لإنتاج ضعف الوقود الذى يستهلك. المولدات تصمم عادة لمضاعفة الزمن لأقل من عشر سنوات. مفاعل التوليد السريع الأكثر انتشاراً هو المفاعل المولد السريع بسائل المعدن والذى له ميزه خواص المعدل السائل، الصوديوم، كمبرد لنقل الحرارة من قلب المفاعل إلى مولد البخار. الكفاءات الحرارية للمفاعل تكون عالية مقارنة بالمفاعل الذى يعمل بتبريد الماء وكذلك الأواني والمواسير تكون ذات إنشاء عالى جداً. على الجانب الآخر، النظم المحتوية على الصوديوم يجب أن تكون مقاومة للتسرب، لأن الصوديوم يتفاعل بعنف مع بخار الماء والأكسجين، بجانب انه يصبح مشع عند مروره خلال مجال النيوترون فى قلب المفاعل ولذلك فإن كل مكونات نظام التبريد الأولى يجب أن توضع فى وضع مغلف لحماية العاملين - تداول الوقود والصيانة تعتبر صعبة جداً لأن الصوديوم ليس فقط معتما ولكن يسبب نشاطه الكيميائى، حيث لا يمكن فتح النظام إلى الهواء إلا بعد التفريغ التام للصوديوم. الشكل (٦ / ١٢) يوضح التوليد السريع بسائل المعدن.



شكل (١٢/٦) مفاعل التوليد السريع باستخدام السائل المعدنى

يوجد جدل كثيرا نحو أخطار المفاعل سريع التوليد وخاصة فى الولايات المتحدة. المولد يكون شديد السخونة ويتم ضخ الصوديوم السائل خلال اللب لإزالة الحرارة المتولدة. مبرد الصوديوم السائل الذى يخرج من المفاعل عند 580°م ليس عالى الإشعاعية ولكنه شديد العدوانية وكذلك يمكن أن ينفجر عند التعرض القليل للماء.

الأكثر أهمية، هو تدفق الصوديوم عند سرعة قناة عالية والتي عندما يحدث لها انسداد أو إعاقة بأي طريقة ما، فإن قلب المفاعل نفسه يمكن أن ينصهر. بعض العلماء ذكر أنه يوجد احتمال الانفجار النووى فى قلب الوقود المحتوى على أكثر من كتلة حرجة واحدة لكل المادة الانشطارية. ولكن هذا لم يحدث فى المفاعل العادى الذى وقوده له تركيز منخفض جدا من الذرات الانشطارية.

٥ - مفاعلات الأبحاث والتدريب:

الغرض الرئيسى من مفاعل الأبحاث والتدريب هو لإنتاج تدفقات عالية من النيوترونات لعمل التجارب المتعلقة بالتكنولوجيا النووية، ولتدريب العاملين للعمل فى محطات الطاقة النووية. مفاعلات الأبحاث الأولى استخدمت اليورانيوم الطبيعى ولكن الحديثة تستخدم الوقود من اليورانيوم المخصب.

مفاعلات حمام السباحة توفر معدل تدفق معتدل للنيوترون (من 10^{12} إلى 10^{13}) ولها قلب المفاعل معلق في حمام ماء مفتوح الذى يعمل كمبرد، مهدئ، وعاكس النيوترون غلاف الإشعاع. عناصر الوقود من نوع اللوح (Plate Type) عالية الإخصاب فى هي المستخدمة عادة.

لزيادة تدفقات النيوترون (10^{13} إلى 10^{14}) فإن المستخدم هو نظام التبريد المفضل المقل مع حوض المفاعل. فى حوض المفاعل يوضع اللب (القلب) خلال خزان بتوصيلات حيث يتم ضخ المياه خلالها لحمل الحرارة. هذا النوع ليس بسيطاً مثل نوع حمام السباحة والقلب ليس فى المتناول لأغراض الأبحاث. ولكن القلب صغير لزيادة كثافة الطاقة، الخزان مصمم بالطريقة التى يمكن بها إدخال المادة المطلوب إشعاعها لأغراض البحث أو الاختبار مباشرة فى القلب. هذا بالإضافة، إلى وجود العديد من الفتحات لأغراض الاختبار، كذلك إنتاج تدفقات، فى غطاء تلك المفاعلات.

أول مفاعل أبحاث باستخدام اليورانيوم المخصب كان من النوع المتجانس (الذى يسمى غلاية الماء) ذلك رغم أن الغليان لم يكن مسموحاً به. القلب مكون من غلاف كروى من الصلب المقاوم، بقطر حوالى واحد قدم الذى يحتوى على محلول الوقود المائى. الحرارة تزال بواسطة لفات مواسير التبريد الملفوفة خلال داخل المحتويات. وهو يوفر تدفق كبير نسبياً للنيوترون بالنسبة لمستوى طاقته وله درجة عالية من الأمان.

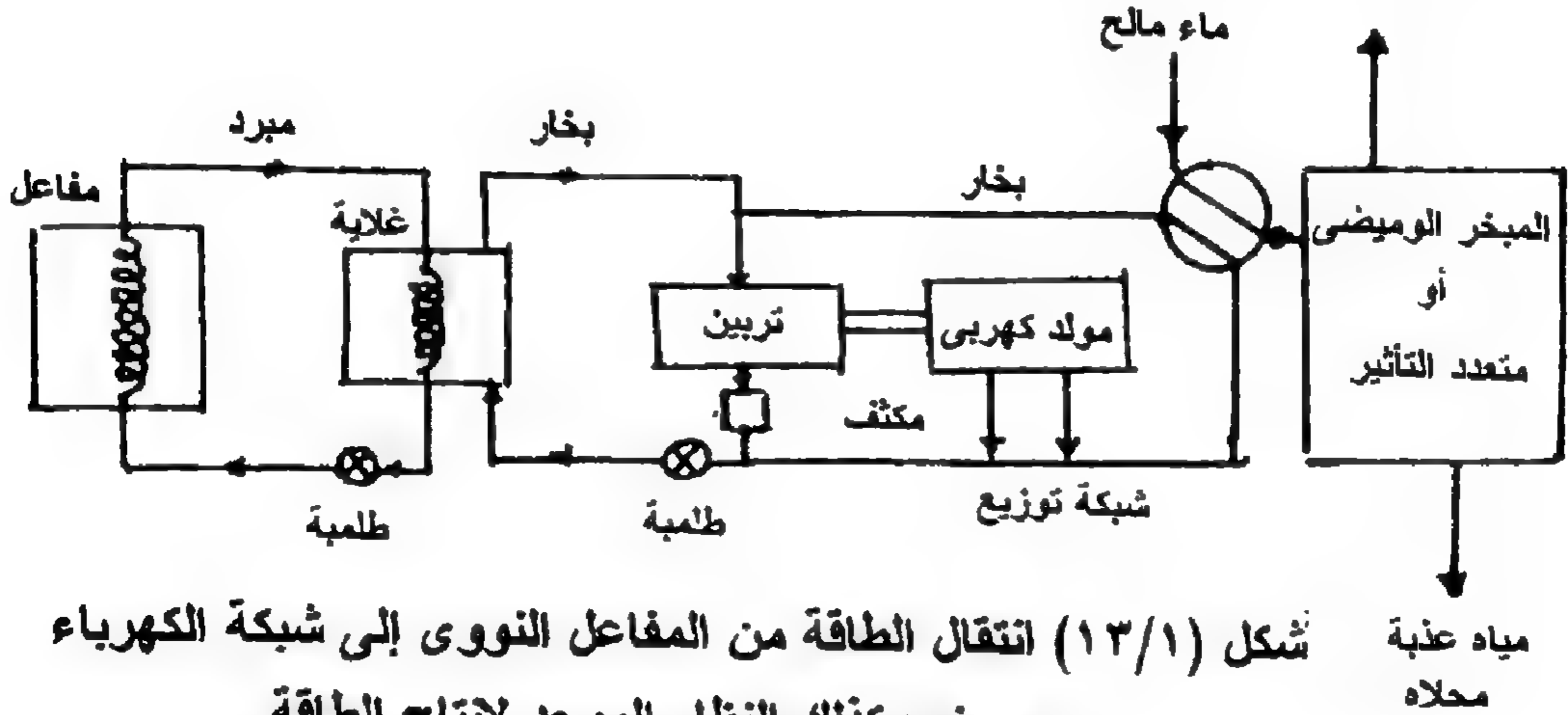
مفاعل الماء الثقيل للأبحاث له كمية ضخمة من المادة الانشطارية وتدفق نيوترون حرارى عالى (حيث التسرب صغير) يزيد عن مفاعل الماء الخفيف المصمم لنفس الطاقة. توزيع تدفق النيوترون الحرارى عبر القلب يكون مستويًا نسبياً وبالتالي فإن هذا النوع يوفر حجم ضخم تجريبى عند مستوى تدفق عالى نسبياً.

الفصل الثالث عشر

توليد الطاقة بالمفاعلات النووية وإعذاب المياه المالحة

١- توليد الطاقة بالمفاعلات النووية:

عند تتبع الشكل (١/ ١٣) الذى يوضح مراحل توليد الطاقة بالمفاعل النووى: الحرارة المتولدة فى المفاعل تحمل بواسطة المبرد (سواء الهواء أو الهيليوم أو الماء الثقيل، أو الصوديوم السائل أو الماء العادى). فى المبادل الحرارى أو الغلاية، المبرد الذى اكتسب الحرارة من المفاعل يعطيها للماء حيث يغلى الماء. البخار الذى ينتج يستخدم فى تشغيل التربين المتصلة بمولد الكهرباء. المبرد والماء المكثف بعد التبريد يتم تدويرهم. أقصى طاقة منتجة فى المفاعل تتحدد بمدى السرعة التى يزيل بها المبرد الحرارة.



شكل (١/ ١٣) انتقال الطاقة من المفاعل النووى إلى شبكة الكهرباء ويوضح كذلك النظام الموحد لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه المالحة

فى حالة استخدام النظام المجمع (Combined System) لتوليد الطاقة وإعذاب المياه المالحة فإنه يستخدم جزء من البخار (الموجه لتشغيل توربين توليد الطاقة) للتسخين المسبق للماء المالحة قبل دخوله إلى محطة الإعذاب (التحلية) سواء كانت تعمل بطريقة البخار متعدد التأثير أو المبخر الومضى.

٢ - المواد المستخدمة فى مفاعلات الطاقة:

اختيار المادة المناسبة للعمل فى المفاعل هو من المهام الصعبة. رغم أن المعادن يمكن أن تحافظ على قوتها عند درجة الحرارة العالية إلا أنها يمكن أن لا تكون قادرة على تحمل

التصادم العنيف بالنيوترونات البطيئة والسريعة. التلف إلى يحدث للمعادن فى بيئة المفاعل - التلف الإشعاعى تم دراسته بالعديد من علماء المواد فى العالم. الآتى بيان بالمواد المستخدمة عموما فى مفاعلات التوليد وفى المفاعلات الحرارية

جدول (١٢/١) المواد المستخدمة فى مفاعلات التوليد وفى المفاعلات الحرارية:

العنصر	المفاعل الحراري	مفاعل التوليد
الوقود	أكسيد اليورانيوم المحتوى على اليورانيوم الطبيعي أو المخصب	أكسيد اليورانيوم المخصب أو أكسيد البلوتونيوم
وعاء الوقود	Zircalloy (سبيكة من الزركونيوم، القصدير، النيكل، الحديد، الكروم.	صلب مقاوم أوستينيت
المبرد	الماء، خارج عند ٣٠٠°م	صوديوم سائل دخول عند ٤٠٠°م، وخروج عند ٦٠٠°م
المهدئ	ماء خفيف، أو ماء ثقيل	لا شيء
قضبان التحكم	محلول حامض البوريك أو قضبان الهافينام	قبان وقود شكلية (Dummy) محتوية على البورون
الاحتواء	أنابيب ضغط من الزركونيوم و / أو وعاء ضغط من الصلب، غلاف خارجي من الخرسانة	وعاء ضغط من الصلب المقاوم مع آخر من الصلب المطاوع كغلاف ثم غلاف خارجي من الخرسانة

إمكانية الطاقة الكهربائية من المفاعلات النووية:

أنواع المفاعلات المختلفة قادرة على تسخير واستخدام الشكل المركزى للطاقة الموجود فى الوقود النووى لإنتاج الطاقة. الطاقة التي يمكن استخلاصها من كمية معينة من الوقود النووى تتوقف على نوع المفاعل النووى المستخدم لحرق الوقود. من بين كيلوات من الطاقة الكهربائية الكامنة والمتاحة فى كل كيلو جرام من اليورانيوم الطبيعي، فإن المفاعلات الحرارية قادرة على استخلاص 7×10^4 كيلوات من الكهرباء لكل كيلو جرام من اليورانيوم (حوالى ١٪). ولكن مقارنة بعدد ٢ كيلو وات من الكهرباء يمكن الحصول عليها من واحد كيلو جرام من الفحم أى ما يعادل حوالى (35×10^3) ضعف.

٢ - المواد المستخدمة فى مفاعلات الطاقة :

اختيار المادة المناسبة للعمل فى المفاعل النووى هو من المهام الصعبة. تنمية وتطوير تقنيات المفاعل النووى سوف يعتمد على حل المشاكل الهندسية وتوفر المادة التى تتحمل الظروف الصعبة داخل المفاعل. كحقيقة واقعة كثيرا من مصممي المفاعل الآن تعتبر "مشكلة المادة" أنها العامل الرئيسى المحدد لتطوير المفاعلات النووية. الوقود النووى يجب أن يكون مادة انشطارية مثل اليورانيوم أو البولتونيوم - مهدئات النيوترون يجب أن يكون لها كتلة ذرية منخفضة ومقطع امتصاص منخفض تحديدا الديتريوم، البريليوم، الجرافيت.. الخ. عناصر التحكم المستخدمة لتنظيم معدل الانشطار يجب أن تكون من مادة لها مقطع امتصاص كبير مثل البورون، الكادميوم، الهافنيام.. الخ. مواد التغليف (Cladding) لعناصر الوقود وجد لها تطبيقات هامة جدا للمعادن فى المفاعلات. من المهم أن العناصر المذكورة تمتلك خاصية معينة مطلوبة. كذلك من المهم أن تكون لديها الخواص الذى تؤكد الكفاءة المطلوبة فى ظروف التشغيل والتى تستلزم مراعاة كل أو بعض المشاكل الآتية :

- نقاء المادة.
 - القوة الميكانيكية.
 - التآكل.
 - التلف بالإشعاع.
 - مكوث ناتج الانشطار.
 - الانتقال الحرارى.
 - الإجهاد الحرارى والزحف.
- أ - بالنسبة لنقاء المادة فإن المعدن الذى يتم استخدامه لخاصية انخفاض مقطع اقتناصه للنيوترون يجب أن يكون خاليا من كميات كبيرة من الملوثات ذات المقطع الكبير. الملوثات فى مادة المفاعل يمكن أن تسبب خواص للمعدن تختلف عن تلك المطلوبة. إعداد المواد بحالة النقاء المطلوبة هو من الأعمال الصعبة وبعض الملوثات تقدر بكميات قليلة جدا (Trace Quantities) عدد كبير من العناصر التى تظهر مقطع كبير لاقتناص الملوثات يمكن أن تقلل من تدفق النيوترون للمفاعل، لذلك فإن صناعة مادة

المفاعل يجب أن يتم إحكامها بحذر مع استخدام تقنيات تصنيع خاصة لإزالة آخر آثار للملوثات معينة.

ب - رغم حقيقة أن كثيرا من المعادن يمتلك الخواص النووية المطلوبة، إلا أن استخدامها كمواد إنشاء في المفاعلات يكون محظورا بسبب عدم توفر خواص القوة العالية. لحسن الحظ، يكون من الممكن تصميم المفاعل بحيث إن يكون معظم الحمل يكون محملا على إنشاء غلاف الحماية (Shield) المصنوع عادة من الخرسانة. ولكن مواد معينة التي تحقق إنشاء جيد عند درجة الحرارة العادية يمكن أن لا تعمل بطريقة جيدة عند درجات الحرارة العالية لعمل المفاعل. في درجة الحرارة العالية للمفاعلات السريعة، يكون مقطع اقتناص النيوترون صغيرا، لذلك يكون اختيار المادة أكثر اتساعا ويمكن ان يتضمن المعادن والصلب عالي درجة الحرارة مثل الفاناديوم، الموليبيدينوم، التنجستن، التاتالام (Tantalum) .. الخ. في المفاعلات الحرارية، عكس المفاعلات السريعة، يكون اختيار المعادن محدودا بالنسبة للبريليوم، الألومنيوم، الصلب المقاوم، الزركونيوم. البورون ذو المقطع عالي الاقتناص أو أى مواد أخرى في شكل سبيكة مع مادة عالية القوة يمكن استخدامها لتعمل كقضبان تحكم بالخواص الكافية. توجد مواد ذات نوعيات ضعيفة إنشائيا، إلا أنها تستخدم في المفاعلات النووية ذلك بسبب خواصها النووية الجيدة. نفس الشيء ينطبق على المواد المقاومة للتآكل كذلك. مواد الإنشاء للمفاعلات يجب أن يكون لها مقاومة تآكل جيدة، ذلك لأنها تعمل عند درجات حرارة مرتفعة في وجود مبرد مثل الماء، الماء الثقيل، ثاني أكسيد الكربون أو معدن الصوديوم المنصهر. رغم أن الماء عند درجة الحرارة العالية ٣٥٠°م وعند الضغط العالي يكون شديد العدوانية إلا انه يمكن تداوله بأمان في سبيكة Zircalloy- 2 (وهي سبيكة من الزركونيوم والقصدير). بسبب أداء التآكل للمبرد على الوقود، فإنه يتم تغطية بمادة تغطية للحماية عندما يكون المطلوب مرور المبرد خلال مواد المهدئ والتغطية فإن مسارات المبرد يتم تبطينها بمواد مقاومة للتآكل، وذلك لمنع حدوث الالتصاق بين المبرد مع مواد التهدة. الإشعاع النووي يمكن أن ينشط التآكل بين المواد التي تكون على نحو مرض في الظروف العادية. نوع آخر من التآكل يسمى انتقال المادة، (Material Transport) والذي يحدث أحيانا عند استخدام مادتين منفصلتين للإنشاء في خط المبرد. في هذه

الحالات، فإن أحد المواد أو المكون السبائكي لأحد المواد يمكن أن يذوب مجرى المبرد ويعاد ترسيبه في أجزاء أخرى من خط التبريد حيث تستخدم مادة إنشاء أخرى. هذا يسبب انسداد في مسار المبرد بما يعيق تدفق المبرد.

ج - التلف بالإشعاع:

نتيجة قذف المواد بالإشعاع النووي على الطاقة فقد يسبب ذلك تغيرات في خواص المواد طبقا للمادة المعرضة للإشعاع. المواد الصلبة المعرضة لمثل هذه الإشعاع يمكن أن يحدث لها:

- خفض في الكثافة.
- تغير في الأبعاد.
- زيادة في الصلابة.
- خفض في المرونة.
- زيادة في جهد الاستطالة.
- زيادة في المقاومة الكهربائية.

بينما تتأثر المعادن الصلبة أساسا بالنيوترونات، فقد وجد أن المركبات العضوية تتأثر بكل إشعاعات ألفا، بيتا، جاما.

د - نواتج الانشطار لكونها ذات طبيعة عالية الإشعاعية فإنه يلزم احتجازها في المفاعل. بعض من نواتج الانشطار يحدث لها إذابة في الوقود نفسه. عناصر الوقود تكون عادة معلبة "Canned" (مغطاة - Clad) بمادة حماية لغرضين، الأول لمنع تآكل الوقود بفعل المبرد، الثانى لمنع نواتج الانشطار من دخول المبرد. طبقة التبطين بسماك 0.005 بوصة تكون كافية لحجز فئات الانشطار. معادن التغطية (التبطين) (Cladding Metals) يجب أن توفر انتقال حرارى جيد وكذلك اقتصاد نيوترون جيد أى تمتلك مقطع منخفض للامتصاص الحرارى للنيوترون عدا بالنسبة لآخر المفاعلات. بعض المعادن المستخدمة لتغطية (تبطين وعاء) عناصر الوقود هي:

الألومنيوم (لمفاعلات الأبحاث)

البريليوم

الصلب المقاوم

الزركونيوم.

كل مواد التغطية يجب أن تكون غير نشطة (خاملة) للمبرد وخالية من الملوثات والإجهادات الزائدة التي يمكن أن تقلل مقاومتها للتآكل.

هـ - نظر لأن مفاعلات الطاقة تستخدم كمصدر للحرارة، لذلك فإن المواد التي تسرى خلالها الحرارة يجب أن يكون لها خواص جيدة للانتقال الحرارى. ينطبق ذلك بالتساوى لعناصر الوقود، التي تتولد الحرارة فيها، مادة التغطية التي يجب أن تسرى الحرارة خلالها إلى المبرد، ومادة الرباط التي تربط مادة التغطية مع عنصر الوقود، وطبيعى، المبرد نفسه. لحسن الحظ فإن معظم مواد الإنشاء المطلوبة فى المفاعل النووى هى معادن أو سبائك المعادن ذات خواص انتقال حرارى جيدة. استخدام المواد الخزفية بديلا عن المعادن يمكن من تحمل درجة الحرارة العالية، ولكنها لا تمتلك خاصية التوصيل الحرارى للمعادن. ضعف خاصية الانتقال الحرارى للمواد الخزفية يمكن التغلب عليها باستخدام (Ceramets) والتي هى المواد التي تجمع بعض الخواص للمواد الخزفية وبعض الخواص المعدنية.

و - المواد المستخدمة فى المفاعل يجب أن تكون قادرة على تحمل التدرجات الحادة الحرارية مع الاحتفاظ بشكلها المطلوب، حتى بعد الاستخدام لمدة طويلة عند درجة الحرارة العالية. مركز عنصر الوقود الذى يكون أكثر سخونة نسبيا يميل إلى التمدد أكثر من خارج عنصر الوقود، الذى يكون عند درجة حرارة أقل نسبيا. هذا الاختلاف فى الاستعداد للمتمدد بين مركز وخارج الوقود يسبب حدوث إجهاد خلال عنصر الوقود الذى يمكن أن ينتج عنه تشوية خارجى للشكل أو حتى التمزق. عناصر الوقود تصنع لتحتمل الإجهادات الحرارية التي تنشأ خلالها بطريقة التصنيع المحكمة لإعطائها بناء بلورى خاص (Crysrallographic). نوع خاص من الإجهاد الحرارى يسمى الصدمة الحرارية (THERMAL shock) يحدث، عند بدء أو إيقاف المفاعل أو التغير المفاجئ فى مستوى الطاقة. عند عمل المفاعل بانتظام فإن عنصر الوقود (أى أحد قضبان الوقود فى المفاعل النووى) يكتسب اتزان فى التدرج الحرارى. ولكن عند التوقف أثناء التبريد السريع لا يمكن أن يتحرر ذاتيا بسرعة كافية. ينتج عن ذلك ما يسمى بالصدمة الحرارية

والتي يمكن أن تؤدي إلى تشوه أو تفتت الوقود أو أي مادة أخرى في المفاعل التي يمكن أن يحدث فيها إجهاد حراري. لذلك فإنه عند عمل المفاعل من المطلوب التحكم في معدل بدء التشغيل أو التوقف ومستوى الطاقة لخفض التلف بفعل الصدمة الحرارية. الحماية ضد تأثير الإجهاد الحراري يمكن تحقيقها وذلك بعمل سبيكة (Alloying) من المواد الانشطارية مع المعادن التي تمتلك خواص إجهاد حراري أفضل. مواد السيراميت النقية (ceramets) لكونها ذات هشاشة بطبيعتها، فإن استخدامها يساعد في خفض التأثيرات المدمرة للصدمة الحرارية في نوع الوقود الخزفي.

الزحف " Creep " أي استطالة وتشوه المادة تحت الإجهاد خلال فترة زمنية طويلة يمكن أن يسبب تغيرات حادة في خواص التشغيل للمفاعل بتوزيع المكونات الموضوعة بدقة كبيرة ومصنعة لأقرب تجاوز. لذلك فإن الزحف يجب تجنبه في كل أجزاء المفاعل. يمكن التحكم في الزحف أو خفضه بالحذر من المادة نفسها، درجة الحرارة، الحمل الذي تتعرض له المادة وأبعاد المادة. سبائك الحديد الكروم النيكل والكروبالث مؤثرة في خفض الزحف. استخدام تبريد إضافي للمادة يمكن أن يضيف إلى خفض الزحف.

٣ - مبردات المفاعل: (Reactor Coolants)

نظرا لأن كل الطاقة المنطلقة في الانشطار تكون في شكل حرارة، فإن المفاعل النووي يجب أن يكون له نظام التبريد المناسب الذي يمنع وصول درجة الحرارة إلى المستويات الغير مطلوبة والتلف. عموما يتم التبريد بتدوير مجال انتقال حراري يسمى المبرد، خلال المفاعل، ثم خلال المبادل الحراري الذي فيه يمكن إنتاج البخار لتشغيل التربين المتصل بمولد الطاقة الكهربائية.

المبرد الجيد للمفاعل يجب أن تكون له الخواص الأساسية التالية:

- يجب أن يكون له طاقة استيعاب حرارية عالية.
- يجب أن يكون له مقطع امتصاص نيوترون منخفض.
- يجب أن يكون غير عدواني لمواد وقود لب المفاعل

مواد الإنشاء والمهدئ.

- يجب أن تكون ثابتة عند التعرض للإشعاع.
- يجب أن تكون قادرة على العمل عند درجة الحرارة العالية.

المواد يمكن أن تكون أما غاز أو سائل ولكن العدد الى يحقق المتطلبات السابقة صغير جدا. الماء والماء الثقيل يعمل كمبرد ممتاز ذلك بسبب وظيفتها المزدوجة كمبرد للمفاعل وكذلك كمهدئ للنيوترونات. الصوديوم المسال أو خليط الصوديوم البوتاسيوم وجد أنه استخدم بنجاح كمبردات في المفاعلات سريعة التوليد. البعض يستخدم مبردات غازية مثل الهواء، الهيليوم، ثاني أكسيد الكربون.. الخ.

١- الماء كمبرد:

الماء كمبرد استخدم على نطاق واسع في المفاعلات النووية وذلك للمزايا الآتية:

- معامل الانتقال الحرارى جيد في أنواع معينة من مفاعلات الطاقة.
- يعمل كمادة تبريد وكمادة تهدئة.
- معدل تدفقه كافى بدون حدوث انخفاض فى الضغط.
- تم تطوير تقنيات المفاعلات بتبريد الماء.
- متوفر ومتاح بتكاليف قليلة.

عيوب استخدام الماء كمبرد فى أنواع معينة من مفاعلات الطاقة.

- لها مقطع كبير نسبيا لاقتناص النيوترونات.
- يتحلل عند التعرض إلى الإشعاع النووى.
- له درجة حرارة غليان منخفضة نسبيا عند الضغط العادى.
- لا يمكن استخدامه فى المفاعلات الحرارية المستخدمة للوقود المخصب بسبب ارتفاع مقطع اقتناص النيوترون.
- عدوانى عند درجات الحرارة العالية ويمكن أن يسبب وجود طبقة سطحية التى قد تكون مدمرة للانتقال الحرارى.
- عند الاستخدام فى مفاعلات الطاقة التى تعمل عند درجة حرارة مرتفعة جدا، فإنه يحتاج إلى الانضغاط، بما يتطلب نظام مواسير خاص ومكلف وتصميم خاص للمبادل الحرارى.

ولذلك فإن استخدام الماء كمبرد يتطلب زيادة (مكلف) تحميل للوقود للتعويض عن الفقد للنيوترونات بالاقتناص.

٢ - الماء الثقيل كمبرد:

الماء الثقيل يعتبر أفضل اختيار مقارنة بالماء (الذى يسمى الماء الخفيف). ذلك بسبب زيادة تأثيره نسبيا فى تهدئة النيوترونات بسبب صغر مقطع الامتصاص. لذلك، فإن المفاعلات بالتبريد بالماء الثقيل لها معامل مضاعفة عالية، حجم أصغر، تدفق نيوترون عالى فى اللب.

عيوب الماء الثقيل هو فى تبخره وفى تكلفته العالية. بالنسبة للتكاليف، فإنه الماء الثقيل لا يستخدم كثيرا فى عمليات المفاعل، وبذا، حيث يمثل الجزء الكبير فى الاستثمارات الرأسمالية. وهو مادة هامة جدا فى نظم المفاعلات المتجانسة السائلة. الماء الثقيل يلزم حمايته جيدا من أى تلوث الذى يعمل على تحلله.

٣ - المعادن السائلة كمبردات:

المعادن السائلة هى مبرد جيد للمفاعلات التى تعمل عند درجة حرارة عالية مثل المفاعلات السريعة (Fast Reactors) ولها المميزات الآتية:

- الثبات عند درجة الحرارة العالية.
- لها معامل انتقال حرارة عالى الذى يقلل من حرارة الجدار والانتقال الحرارى لنفس الحرارة المنقولة.
- درجة حرارة غليانه عالية جدا.
- له طاقة حرارية عالية.
- ضغط البخار عند درجات الحرارة العالية يكون قليلا إلى حد كبير عن ذلك للماء، حيث لا تكون هناك ضرورة لمعدة الضغط المرتفع.

ولكن، المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة هى فقط التى يمكن أن تستخدم كمبردات. الصوديوم المنصهر وخاصة سبيكة الصوديوم البوتاسيوم استخدمت بنجاح كمبرد. معدن الصوديوم ينصهر عند ٢١٠ درجة فهرنهايت (٩٨°م) وله توصيل حرارى يعادل ١٤٠ ضعف ذلك الماء. سبيكة الصوديوم البوتاسيوم تتميز عن الصوديوم فى أنها تكون سائلة عند درجة حرارة الغرفة، ولكن لها مقطع امتصاص نيوترون عالى نسبيا. السلبية الأخرى أساسا بسبب النشاط الكيميائى العالى، حيث استخدامه يتطلب معدة تداول مكلفة جدا وخاصة تداول المعادن السائلة خطير وصعب حيث يحترق سريعا فى

الهواء وتتفاعل بعنف مع الماء. بعض المعادن السائلة مثل الرصاص والرصاص البزمث تكون شديدة العدوانية لمعدات الإنشاء عند درجات الحرارة العالية. اختيار سائل المعدن كمبرد تمليه ظروف درجة الحرارة والتآكل. ضخ المعادن السائلة خلال نظام التبريد يواجه مشاكل عديدة وتستخدم طلبات خاصة مثل الطلبات الكهرومغناطيسية لهذا الغرض ذلك لأن العزل (Sealing) والتصميم يكون معقدا للطلبات الميكانيكية التي يمكن استخدامها كبديل. ولكن الطلبات الكهرومغناطيسية المبنية على القوة المنتجة من موصل في مجال مغناطيسي لا تحتاج إلى أي أجزاء دوارة ميكانيكية ملتصقة مع سائل المعدن وبذا تختفي كلية مشاكل التحميل والعزل. حتى أن وجود قليلا من الأكسيد في المعدن السائل لا يؤثر على كفاءة الطلبية.

٤ - الغازات كمبردات:

كثيرا من الغازات مثل الهواء، الهيليوم، ثاني أكسيد الكربون، النيتروجين، الهيدروجين.. الخ يمكن استخدامها كمبرد للمفاعل وخاصة تلك التي تعمل عند درجات الحرارة العالية مثل الصواريخ النووية. درجة حرارة التحلل الحراري للمبرد الغازي هي عموما أعلا من كل المعادن السائلة وهي أعلا من أقصى درجة حرارة تشغيل لكل المفاعلات تحت التصميم والتي تتحدد أساسا باعتباريات مادة الإنشاء:-

المميزات العامة للمبردات الغازية:

- يمكن استخدامها في المفاعلات التي تعمل عند درجات الحرارة العالية جدا.
- الحرارة المرتفعة للمبرد ينتج عنها كفاءة حرارية عالية.
- المفاعل يمكن أن يعمل عند ضغط متغير بالمحافظة على ثبات درجة الحرارة.
- ثاني أكسيد الكربون خامل بالنسبة لمواد الإنشاء في اللب.

ولكن عيوب المبردات الغازية هي:

- يلزم نافخات قوية لتدوير كميات ضخمة من الغاز، بما يزيد من استهلاك الطاقة.

- يسبب زيادة استهلاك الطاقة تكون الكفاءة الكلية منخفضة.
- معامل الانتقال الحراري للغازات صغير جدا، لذلك فإنها قد لا تتوافق مع متطلبات الطاقة لاعتبارات اقتصادية.

- الأكسجين والنيتروجين لهم عدوانية التآكل عند درجة الحرارة العالية.

الهيليوم رغم ندرة وفرتة بكمية كبيرة، تكلفته، إلا أن له توصيل حرارى عالى، امتصاص النيوترون مهمل، حامل كيميائيا تماما وثابت عند التعرض للإشعاع، يمكن استخدامه لنظام الدورة المقفلة ويتطلب مبادلات حرارية ضخمة.

الهواء ليس مادة جيدة للتوصيل الحرارى ويميل إلى التفاعل مع المعادن الملتصقة به. ولكنه غير مكلف ومتوفر، ويمكن أن يكون مبرد مثالى لنظام الدورة المفتوح لكل من مفاعلات الطاقة النووية الثابتة والمتحركة. يستخدم الهواء كمبرد لمفاعل (Harvell) فى إنجلترا. الهيليوم يتفوق على CO_2 كمبرد بسبب المعدل العالى للانتقال الحرارى وصغر مقطع الامتصاص. ولكن CO_2 متاح وغير مكلف.

مفاعل أبحاث فى فرنسا استخدم النيوتروجين كمبرد عند ١٠ ضغط جوى.

٤ - عناصر التحكم فى المفاعل: Reactor Control Elements

التفهم الكامل لإحكام المفاعلات النووية يتطلب معلومات عن طبيعة التفاعل المتسلسل. نسبة متوسط عدد النيوترونات المنتجة فى فترة زمنية معينة إلى متوسط العدد الممتص أو التسرب، يسمى معامل التضاعف المؤثر للمفاعل. إذا كان أكبر من واحد، فإن المفاعل يكون فوق الحرج (Super Critical) إذا كان يساوى واحد، فإنه يسير بحالة ثابتة (أى مفاعل حرج)، إذا كان أقل من واحد، فإن التفاعل المتسلسل يتوقف. مستوى الطاقة فى المفاعل النووى يتم إحكامها بضبط تدفق النيوترون بتحريك قضبان من مواد ماصة لنيوترون. قضبان التحكم هذه تنظم تدفق النيوترون فى المفاعل طبقا لدرجة غرسها فى قلب المفاعل.

قضبان التحكم يمكن تقسيمها (طبقا لغرضها الحقيقى) كالتالى:

Safety Rods	- قضبان الأمان
Shim Rods	- قضبان الحشو
Regulating Rods	- قضبان التنظيم
Shim - Safety Rods	- قضبان الحشو للأمان

ولكن قضبان التحكم تسبب عدم تجانس الفقد للوقود النووى (Burn up) وكذلك فقد النيوترونات الثمينة. الخفض الكامل فى النشاط بواسطة قضيب التحكم يكافئ إجمالى زيادة النشاط الضرورى لمقاومة تسمم ناتج الانشطار، الفقد فى الوقود النووى والتسمم من

التجهيزات التجريبية التي تم إيلاجها (Inserted) ، أحياناً ، فى لب المفاعل قليلاً. البورون بماله من مقطع امتصاص عالى (Barns 750)، (Barn = وحدة مساحة تساوى 10^{-28} متر مربع) نقطة انصهار عالية (2300°م) هو المادة المستخدمة غالباً لإحكام القضيب. كذلك الكادميوم يكون مطلوباً من وجهة نظر مقطع الامتصاص ولكن نقطة انصهاره المنخفضة (321°م) يجعل هذه المادة أقل من الناحية العملية. كذلك استخدام الهافنيوم (Gadolinium Oxide) لقضبان التحكم.

١ - قضبان الأمان: (Safety Rods):

تستخدم قضبان الأمان لتوفير نشاط سلبى عالى، تحت ظل ظروف التحميل الممكنة والظروف العادية المتوقعة للمفاعل، مع كل القضبان الأخرى فى أقصى وضع نشاط موجب. تصمم القضبان وما يصاحبها من آليات التشغيل لتغيير التفاعل والنشاط (Reactivity) فى الاتجاه الموجب عند حوالى ٠,١٪ فى الثانية، وليتحرك خلال كل مشواره قبل تحرك قضبان الحشو (حيث المفاعل يظل دون الحرج). هذه عادة يتم تثبيتها بمزلاج مغناطيسي (Magnetically Latched) فى أوضاع جاهزة للخفض السريع للنشاط. القضبان المدمجة عادة يتم رفعها بكابل يعمل بمحرك يرفع بدواسة القابض (Clutches) المصممة لتحرير القضيب للانصراف (Scram) بما ينتج عنه خفض سريع فى النشاط. يستخدم ممتص الصدمات لمنع التلف للقضيب وإنشاءات الحمل. قضبان الأمان تعمل فوراً فى حالة الطوارئ بإيقاف المفاعل.

٢ - قضبان الحشو: Shim Rods

تستخدم قضبان الحشو لإحكام النشاط بكميات تتوقف على الغرض من المفاعل وتشغيله. زيادة النشاط أثناء عمل المفاعل يتم امتصاصها بواسطة قضبان الحشو. بينما عند بدء تشغيل المفاعل، يتم سحبها إلى الخارج لتوضع بدقة فى المفاعل للمحافظة على استمرار ثبات مستوى الطاقة. يمكن ضبطها بعد ذلك بهدف التعويض عن تسم ناتج الانشطار فى اللب. قضبان الحشو تتحرك فى كل من الاتجاهات موجبة النشاط وسالبة النشاط.

٣ - قضبان التنظيم:

تستخدم قضبان التنظيم للتحكم الدقيق فى تغيرات النشاط وذلك بامتصاص نسبة قليلة من النشاط التى سببها متوسط التغير الصغير فى درجة الحرارة، الضغط، كثافة

مادة الوقود. أقصى نشاط يحكم بهذا القضيب يعلق إلى إجمالي ٠,٦٪ أو أقل، طبقاً لقدرة نظام الأمان لمنع التغيرات الخطيرة لتدفقات المفاعل.

٤ - قضبان الحشو للأمان: Shim - Safety Rods

تلك القضبان تستخدم في كثير من المفاعلات لأنها تجمع أداء كلا من الجانبين قضبان الأمان وقضبان الحشو بتحريك القضبان ببطء في اتجاه تغيير النشاط الموجب أو السالب. سرعة الانصراف الفوري عالية ما أمكن مع ماصات للصدمات منظمة لإيقاف القضبان عند نهاية المشوار. تحرك قضبان التحكم يمكن أن يحدث أفقياً، رأسياً أو في شكل قوس طبقاً لتصميم المفاعل. في حالة الزيادة المفاجئة أو في الطاقة في المفاعل أو عند حدوث زلزال، فإن قضبان التحكم تعمل في الحال (خلال ٥ ثوان) إيقاف المفاعل. انتفاخ الأجزاء الخارجية للمفاعل نتيجة زيادة التسرب الحراري يحدث بسبب وجود قضبان التحكم. بهدف الحصول على انتظام تدفق الإليكترون في المفاعل على الطاقة، يتم توفير حزمة من قضبان التحكم. بالنسبة لمفاعلات الأبحاث ذات الطاقة الصغيرة، فإنه يكفي قضيب تحكم واحد موضوعاً في المركز لتلبية المتطلبات. عناصر التحكم في النشاط يتم إدارتها إما بمحركات كهربية أو بمحركات هيدروليكية. تستخدم المغنطيسات للامساك بقضبان التحكم أو بقضبان التحكم والحشو. آلياً مثل زنبركات الصلب.. اله يتم توفيرها للتحرر السريع للقضبان لتوفير أداء سريع لقضبان الأمان هذه.

ضبط كمية الوقود والمبرد، والمهدئ في اللب يمكن كذلك أن تحكم تدفق الإليكترون في اللب إلى حد ما.

٥ - اختيار موقع مفاعل الطاقة النووية:

اختيار الموقع المناسب لمفاعل الطاقة النووية هي أساساً مشكلة أهمية الموقع للمفاعل لتأمين كلا من المفاعل والمجتمع المحلي. الاعتبارات البيئية تكون ذات أهمية بالغة بالنسبة لاختيار موقع المفاعل.

عموماً الموقع النموذجي لمحطة المفاعلات النووية يجب أن يحقق الآتي:

- بعيداً عن مراكز التجمع السكاني وليس به سكان.
- ليس به أي مصادر سواء مواد معدنية أو قيمة عسكرية.
- مساحة لا تقل عن كيلو متر مربع.

- مستوية إلى حد ما وذات سعر منخفض نسبيا.
 - تكاليف تطوير الموقع تكون منخفضة.
 - قريبا من مصدر مياه كبير مثل الأنهار.
 - قريبا في الارتفاع للإمداد بالمياه لخفض تكاليف الضخ.
 - ذات قيمة زراعية منخفضة.
 - في مكان له ثبات جيولوجي بالنسبة للأساسات.
 - في منطقة ذات مناخ جيد.
 - بعيدة عن مخاطر الزلازل.
 - قريبة من مراكز توفير العمالة.
 - قريبة من مراكز التحميل لتوفير خطوط نقل قصيرة وذات كفاءة عالية.
 - خالية من المواد الخطرة الطبيعية والصناعية.
- وفى حالة عدم التوافق لتحقيق كل تلك المتطلبات فإنه يتم الموازنة بين كل المواقع لتحقيق أقصى المتطلبات.

٦ - النظام الموحد لتحلية المياه المالحة:

Combined System for Desalination of Saline Water

فى هذا النظام المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للاستخدام للشرب أو الرى الأراضى أو للاستخدام الصناعى أو الخدمى ، هو نظام التقطير الحرارى. فى هذه الطريقة يستفاد بالطاقة الحرارية المصاحبة للبخر الذى استخدم فى تشغيل تربينات توليد الطاقة الكهربائية وذلك للتسخين المسبق للماء المالح قبل دخوله إلى جهاز التحلية إلى درجة حرارة الغليان (١٠٠°م) ويسمى هذا النظام بالنظام الموحد لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه المالحة.

فى هذا النظام متعدد التأثير (Multi Effect System) موضحة فى الشكل (١٣/١). المياه المالحة من ملوحة ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون يتم تسخينها بالتدريج بطريقة المبادلات الحرارية، بواسطة تكثيف البخار فى عدد مساو من غرف التبخير الأكثر سخونة، عند درجات حرارة ما بين ٦٠ - ١٠٠°م عادة، ثم تبخر جزئيا بواسطة بخار من مصدر خارجى والذى هو فى حالتنا هذه بخار الماء بعد استخدامه فى تشغيل التربينات المولدة للطاقة الكهربائية. البخار الناتج يمر إلى المؤثر الثانى. فى الوقت نفسه

فإن المياه المالحة التي لم يتم بتبخيرها في المؤثر الأول تدفع (Flushed) إلى المؤثر الثاني. يحدث تبخير آخر في المؤثر الثاني عند درجة حرارة أقل من المؤثر الأول نظرا لانخفاض في الضغط الناتج عن التكثيف. يحدث هذا التكثيف ما بين البخار الداخل والمياه المالحة الحرره من الضغط. ثم يكرر العمل في كل من المؤثرات التالية والتي يصل عددها إلى أقل من عشرة. طاقة الضخ اللازمة للمبخر متعدد التأثير هي عادة ٢ - ٣ كيلوات سعة لكل متر مكعب من المياه.

المياه المعالجة بالطرق الحرارية تحتاج إلى معالجات خاصة لتجنب حدوث الترسبات، وكذلك تحتاج إلى ضبط الرقم الهيدروجيني قبل الاستخدام لإزالة آثار المعالجات الكيميائية المسبقة قبل التبخير.

٧ - تحليل التكلفة : Cost Analysis

التكاليف الرأسمالية الأولية لمحطة الطاقة النووية أكبر من محطة الطاقة الحرارية بنفس السعة، ولكن تكاليف التشغيل أقل كثيرا. رغم تكاليف الإنتاج المنخفضة، إلا أن الاستثمارات العالية في محطة الطاقة النووية تكون أحيانا متشعبة بها. في نظام توليد بالطاقة النووية تكون التكاليف الرأسمالية مطلوبة للوحدات ذات العلاقة كذلك لإنتاج الماء الثقيل، تخصيص اليورانيوم، وتجهيز المهمات اللازمة لنشاط دورة الوقود. محطات الطاقة المائية هي الأقل تكلفة للتشغيل ذلك لعدم استخدام أي وقود ولكن الاستثمارات الأولية مرتفعة إلى حد ما. مع زيادة طاقة الإنشاء للوحدة فإن الاستثمارات الرأسمالية تقل كثيرا. تكاليف وحدة الطاقة كيلوات سعة في حالة المحطة الحرارية هي أساسا دلالة لسعر الوقود بالطن. مع زيادة طاقة وحدة واحدة فإن تكاليف الطاقة تقل لكل من المحطات النووية والحرارية.

عند مقارنة تكاليف المحطة النووية والمحطة الحرارية تكون المقارنة لصالح النووية. التكاليف الرأسمالية للمفاعلات المتجانسة والمفاعلات بالجرافيت وبتبريد الغاز أكثر قليلا عن المفاعل الذي يعمل بالماء للتبريد وللتهدئة. تكاليف إنتاج الطاقة بالمحطات النووية هو نفسه بصرف النظر عن نوع المفاعل.

للحصول على خفض في تكلفة الطاقة النووية يكون من المهم خفض تكلفة الوقود وكذلك التكاليف الرأسمالية. التكاليف المنخفضة للوقود يمكن الحصول عليها بنوعين من المفاعلات وهما المفاعل المولد (Breeder) والمفاعل المحول (Converter).

يبدو أن الطاقة النووية تنافس اقتصاديا توليد الطاقة بالوقود الحفري، رغم ارتفاع التكاليف الأولية للطاقة النووية، إلا أن تكاليف الوقود الذي يحرق تكون أقل عن تكاليف الفحم أو الزيت اللازم لإنتاج نفس الكمية من الطاقة. بناء محطات الطاقة النووية ذات الطاقة العالية والعمل عند أحمال عالية سوف يقلل من تكاليف الطاقة المنتجة.

الفصل الرابع عشر

دورة الوقود النووي

١- إعادة تصنيع الوقود المستهلك: (Reprocessing Of Spent Fuel)

المعالجة الكيميائية للوقود بعد الإشعاع في المفاعلات النووية له أهمية من وجهة نظر اقتصادية الطاقة، رغم أنه لا يمثل جزء إضافي من عمل معظم المفاعلات النووية. أثناء تشغيل المفاعل النووي يوجد تراكم تدريجي من ناتج الانشطار ذو الوزن النووي المنخفض الذي تضع نفسها خلال البناء الشبكي للوقود أو السبيكة في عنصر الوقود (قضيب الوقود). بسبب زيادة تراكم ناتج انشطار أثناء عمل المفاعل، فإن الكفاءة الكلية للمفاعل تنخفض نظرا لأن نيترونات أكثر وأكثر يتم اكتساحها من التفاعل المتسلسل بمقطع الامتصاص العالي لنواتج الانشطار والتي تلطف مكونات الوقود وتغير خواص عنصر الوقود. بجانب التراكم المستمر لنواتج الانشطار الغازية مع الوقود نفسه التي تسبب التشوه خلال الوقود. لهذه الأسباب، يكون من المرغوب فيه إزالة الوقود من المفاعل عند مراحل معينة لإزالة تراكمات ناتج الانشطار، استرداد المادة الانشطارية التي لم تحترق ومعالجة هذه المادة الانشطارية ثانيا لتكون وقود ثمين ذو أبعاد نسبية محددة.

الوقود المستهلك نظرا لكونه مشعاً بطبيعته بسبب وجود ناتج الانشطار الإشعاعية فإنه عادة يسبب مشاكل في معالجته، يكون من المرغوب فيه السماح للوقود العادم بالتبريد لفترة قصيرة من الوقت قبل تداوله بواسطة تقنيات تجهيز تعمل عن بعد في وحدة الفصل.

عموماً، توجد طريقتين، لإعادة صلاحية الوقود المستهلك من المفاعل الحراري لاستعادة البلوتونيوم، الوقود الغير محترق ونواتج الانشطار المفيدة.

الطريقة السائلة (aqueous Method) :

هذه الطريقة هي الأكثر ملائمة للوقود بالاحتراق المنخفض (انخفاض الفقد في الوقود

النوى - Burntup) تشمل تبريد الوقود المشع لمدة ٣ - ٤ شهر يلي ذلك :

- إزالة طبقة التغطية أو التبطين وإذابة الوقود.
- فصل فئات الانشطار (Fission Fragments) من اليورانيوم والبلوتونيوم.
- فصل وتنقية البلوتونيوم واليورانيوم باستخدام الاستخلاص بمذيب.

- تحويل محاليل البلوتونيوم واليورانيوم التي تم تنقيتها إلى الأكسيد أو المعدن.

الطريقة الغير سائلة : Non - aqueous Method

هذه الطريقة تشمل أساسا نوعين:

طريقة تبخر الفلوريد عند درجة حرارة منخفضة نسبيا (١٠٠°م).

- الطريقة الحرارية المتأليرجية عند درجة الحرارة العالية (قريبا من نقطة غليان الوقود).

طريقة تبخر الفلوريد (Fluoride Volatility Method)

تستخدم هذه الطريقة خاصية التبخر العالي لمركب فلوريد اليورانيوم (Uranium Hexafluoride) (UF_6) لفصل اليورانيوم من البلوتونيوم ونواتج الانشطار. يتم فلورة الوقود المستهلك باستخدام (BF_3) ويتم الحصول على اليورانيوم في شكل (UF_6) الخالي من البلوتونيوم ومعظم نواتج الانشطار، بالتبخر المحكم الذي يليه التكثيف. بعض من نواتج الانشطار مثل التيريليوم، الموليدينوم، الزرينخ التي تكون فلوريد متطاير ثابت يمكن إزالتها بالتقطير الجزئي. هذه الطريقة لا تنتج فصل للبلوتونيوم. البلوتونيوم يمكن استعادته من مخلفات الفلوريد بالطريقة السائلة.

الطريقة الحرارية المتأليرجية:

تستخدم هذه الطريقة أساسا على مستوى صغير بسبب التآكل ومشاكل المعدات، بعض العمليات الحرارية المتأليرجية سيتم وصفها كالتالي:

*** طريقة استخلاص المعدن المنصهر:**

تستخدم هذه الطريقة المعادن المنصهرة مثل الفضة والمغنسيوم (و هذه لا تذوب مع اليورانيوم) لاستخلاص اليورانيوم ونواتج الانشطار من اليورانيوم المشع. يتم صهر الوقود المستهلك تحت التفريغ والتصاقه مع الفضة المنصهرة. خلاصة مستخلص (Extract) الفضة المحتوية على البلوتونيوم ونواتج الانشطار الغير متطايرة يتم إزالتها والتصاق بمصهور كلوريد الفضة - كوريد الصوديوم لتنقية الفضة للتدوير. البلوتونيوم يتم استعادته من المجال الملحي.

* طريقة التبخير بالتفريغ (Vacum Volatalisation Method) :

فى هذه الطريقة الوقود المستخدم المنصهر يتم تقطيره تحت التفريغ لفصل البلوتونيوم ونواتج الانشطار من اليورانيوم. نواتج الانشطار الأكثر تبخرا مثل إكزيتون، الاسترنشيوم، السيزيوم، اليود.. الخ تزال أولا والتقطير عند درجة حرارة أعلا (حوالى ٦٨٠°م) يزيل البلوتونيوم.

* طريقة التبليز الجزئى :

تعمل هذه الطريقة على مبدأ الاختلافات فى إذابة اليورانيوم والبلوتونيوم فى مصهور مثل الزنك، الكاديوم، الزئبق، الرصاص.. الخ.

* طريقة رغوة (خبث) الأكسيد :

تستخدم الطريقة الأكسدة التفضيلية لبعض نواتج الانشطار مثل الاسترنشيوم، الباريوم ومعادن التربة النادرة (عند إضافة كمية محكمة من الأكسجين إلى مصهور الوقود المستخدم) الذى يمكن إزالته ميكانيكيا. ولكن بعض نواتج الانشطار مثل الزركونيوم، النيوبيوم، المولبدنوم لا تزال فى هذه الطريقة.

* طريقة التنقية الكهربائية :

تهدف هذه الطريقة إلى فصل البلوتونيوم ونواتج الانشطار من الوقود المستهلك باستخدام التنقية الكهربائية عند درجة حرارة عالية فى البكتروليت من الملح المنصهر. اليورانيوم يرسب عند الكاثود بينما نواتج الانشطار تظل فى الملح أو تتجمع كراسب عند الأنود. البلوتونيوم الذى يظل فى الملح يمكن إزالته بالتبخير.

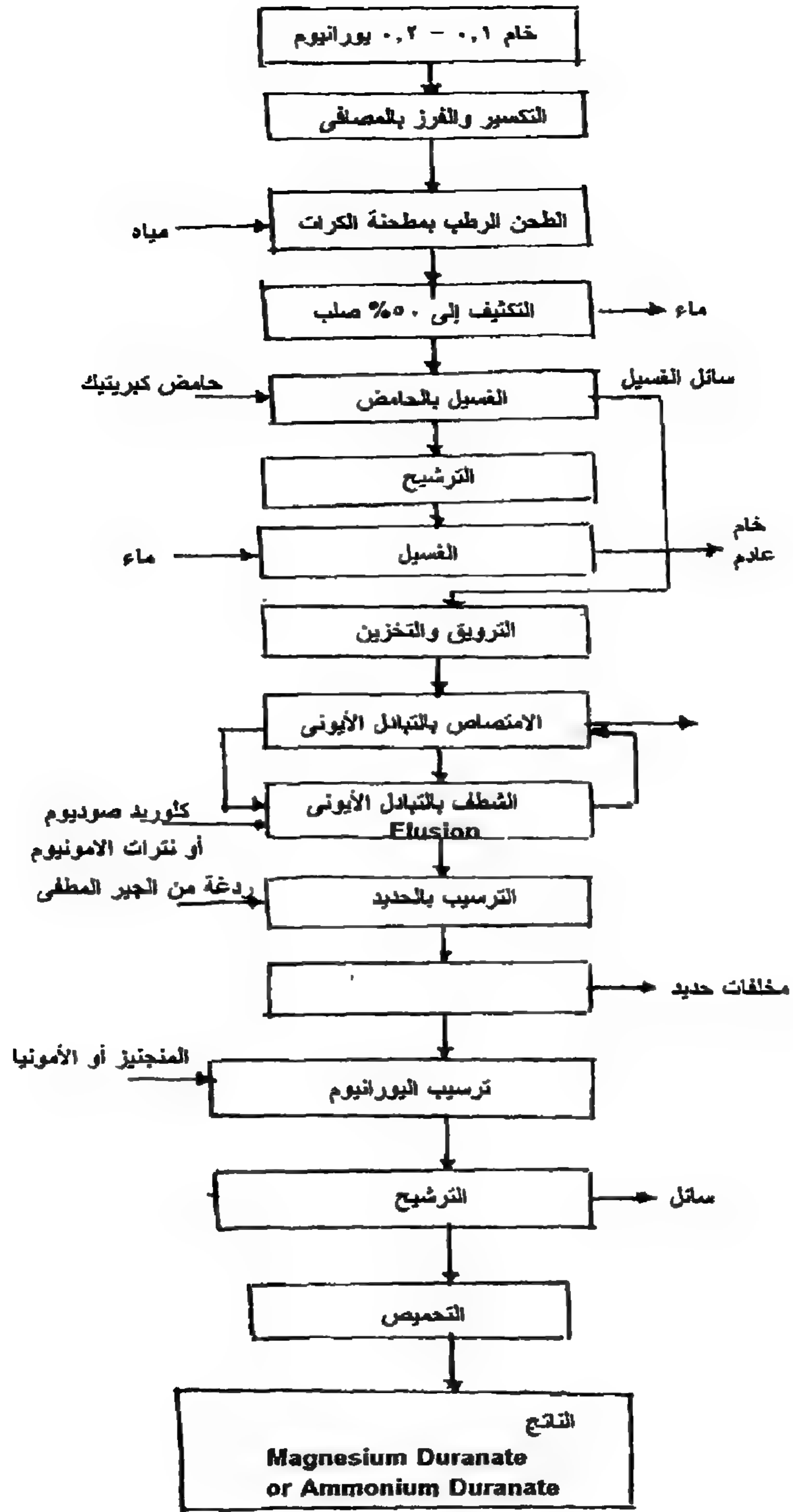
معظم عمليات إعادة تصنيع الوقود المستخدم تكون مكلفة فى العمل، ولكن نظراً لكون المادة الانشطارية الغير محترقة مادة ثمينة، فإن البلوتونيوم ونواتج الانشطار فى الوقود المستهلك يجعل من هذه العمليات أنها مبررة.

٣ - دورة الوقود النووى : Nuclear Fuelcycle

الوقود النووى بدءاً من استخراج خاماته من المنجم إلى التخلص النهائى، يحدث له العديد من العمليات والمعالجات. التصور الكامل لهذه الظاهرة موضح فى مخطط يسمى دورة الوقود النووى.

خام اليورانيوم الذى يحتوى عادة على كمية قليلة جدا من اليورانيوم، يتم استخراجها من المنجم وتركيزه بعمليات مثل الغسيل (Leaching)، الترسيب، الاستخلاص بالمذيب والتبادل الأيوني، فى موقع المنجم نفسه لخفض تكاليف النقل. اليورانيوم المركز بعد إزالة الملوثات غير اليورانيوم عادة بعد الاستخلاص بمذيب يرسل إلى وحدة تصنيع عنصر الوقود (قضبان الوقود). جزء من اليورانيوم حيث يتم إخصابه بمحتوى من (U-235) الانشطاري. اليورانيوم المخصب يمكن إرساله إلى وحدة تصنيع قضبان الوقود التى تنتج قضبان وقود مخصصة لإرسالها إلى مفاعلات معينة لتوليد الطاقة منخفضة التكاليف.

إنتاج اليورانيوم. يتم غرس قضبان الوقود فى المفاعل ويتم بدء المفاعل. المبرد يلتقط الحرارة المتولدة خلال المفاعل. وينتج بخار فى وعاء الذى يدير التربين المتصل بمولد للطاقة الكهربائية، حيث تنقل الطاقة المولدة إلى شبكة الكهرباء. والوقود بعد الحرق (خفض عدد الذرات) يتم تفريغها من المفاعل. العوامل التى تحدد الوقت الذى عنده يجب تفريغ المفاعل من قضبان الوقود هى التلف الميكانيكي بسبب تفاعل الانشطار، التعرض لإشعاع كثيف، الفقد فى النشاط (الإشعاعية) النووية بسبب حرق المادة الانشطارية. وتكون سموم ماصة للنيوترون. زمن التشعيع (Irradiation) النموذجي يمكن أن يكون حوالى عام. الوقود المستهلك الذى يكون شديد الإشعاع بسبب وجود نواتج الانشطار يحتوى على كميات كبيرة من مواد خصبة (Fertile) ومن مواد انشطارية (Fissile). والتى يلزم استعادتها من وجهة نظر الاقتصادية لتوليد الطاقة. عموما الوقود المستهلك يتم تخزينه لمدة ٣ - ٤ شهور (بحيث يموت بعض من نشاط الإشعاعى)، وذلك قبل معالجته. اليورانيوم الغير محروق والبلوتونيوم المحول يرسل ثانيا إلى وحدة تصنيع قضبان الوقود. نواتج الانشطار طبقا لمدى الاستفادة منها إما أن يتم التخلص منها بعد التنقية أو التخزين. المخلفات المشعة المنتجة فى إعادة المعالجة يتم التخلص منها طبقا لطرق السابق ذكرها وطبقا لمستوى نشاطها الإشعاعى.



شكل (١٤/١) إنتاج اليورانيوم المركز

اليورانيوم الطبيعي يحتوى فقط على ٠,٧١٪ من اليورانيوم - ٢٣٥ والذي هو مادة انشطارية، الباقي يورانيوم - ٢٣٨ الخصب (Fertile). لذلك فإن أدنى كتلة لليورانيوم الطبيعي اللازمة لاستمرار التفاعل المتسلسل (أى الكتلة الحرجة) تكون كبيرة جدا. لذلك فإن تركيز اليورانيوم - ٢٣٥ فى اليورانيوم الطبيعي يتم زيادته بعمليات صناعية لإنتاج اليورانيوم الثرى أو المخصب (Enriched). فى الهند تستخدم مفاعلات الطاقة يورانيوم مخصب حتى ٣٪ من U-235 والذي تستورده من الولايات المتحدة، واليورانيوم المخصب بنسبة ٨٥٪ تستورده من فرنسا لمفاعلات الاختبار سريعة التوليد.

حتى الزيادة القليلة فى تركيز النظير الانشطاري (U-235)، من ٠,٧١٪ لتوفير الزيادة فى المرونة فى تصميم المفاعل ويوفر زيادة كبيرة فى الحرق (خفض عد الذرات). الزيادة فى تركيز المادة الانشطارية قد يكون بسبب ذرات U-235 أو ذرات Pu-239، المميزات للأخيرة هى أنه لا توجد حاجة إلى وحدة فصل النظير. ولكن إخصاب اليورانيوم كما هو يعنى زيادة تركيز U-235 فى اليورانيوم الطبيعي - المرونة فى تصميم المفاعل لحرق اليورانيوم المخصب يتم تخفيفها بسبب حقيقة أن الذرات الانشطارية توفر مصدر إضافي للنيوترونات الزائدة الكبيرة فى عدد النيوترونات الممتصة. تلك النيوترونات الزائدة الإضافية تسمح بزيادة مجال الاختيار للمواد المستخدمة فى المهدئ، قضيب الوقود، المبرد، الإنشاء. بجانب تسهيل التغيرات فى التنظيم الهندسى للـب المفاعل، والذي يؤثر على معامل التحوّل. بعض المميزات الأخرى لاستخدام اليورانيوم المخصب فى المفاعل الحرارى هى:

- تقليل حجم المفاعل.
- خفض التكاليف الرأسمالية للمفاعل.
- زيادة عمر الوقود أي خفض التلف للنيوترونات.
- زيادة فى خرج الطاقة لوحدة الكتلة من الوقود.

طرق الإثراء أو الإخصاب:

كفاءة عامة توجد ستة طرق لإخصاب اليورانيوم هى:

- عملية الانتشار الغازى (Gaseous Diffusion)

- عملية الانتشار الحرارى (Thermal Diffusion)
- عملية الطرد المركزى للغاز (Gas Centrifuge)
- عملية الإثراء الكهرومغناطيسية (Electromagnetic)
- عملية الإثراء باليزبورز (Nozzle Enrichment)
- عملية الإثراء بالليزر (laser Enrichment)

١- عملية الانتشار الغازى:

هذه العملية مبنية على مبدأ أن الجزيئات الأثقل فى خليط الغاز، التى تكون دائما فى حركة عشوائية، تسير ببطء أكثر عن الجزيئات الأخف. عند تحويل اليورانيوم الطبيعى إلى غاز اليورانيوم هكذا فلوريد (UF_6) ويتم ضخه إلى غرفة مقسمة إلى جزئين، أحدهما يظل عند ضغط أقل قليلا عن الآخر وكلاهما له مخرج. مع ضخ غاز (UF_6) خلال الجزء عالى الضغط فإن نصفه ينتشر نحو الجزء منخفض الضغط خلال الحاجز. الغاز الذى يتم الجزء منخفض الضغط نرى أنه أكثر ثراء فى $U-235$ والغاز الذى يتم الجزء ذو الضغط الأعلى يقابله انخفاض فى هذا النظير ذلك بسبب حقيقة أن جزيئات ($U^{236} F_6$) تكون أخف وأسرع وأكثر مرونة ولذا تكون فرصتها أفضل للمرور خلال الحاجز وعامل الفصل، قياس التركيز الذى يتحقق بمرحلة واحدة لأى عملية تركيز لانتشار UF_6 يساوى ١,٠٠٤٣. ولكن من الناحية العملية معامل الفصل أقل عن هذا بسبب ظروف التشغيل الغير مثالية وخفض الكفاءة. لذلك، يكون من الضرورى توفير مئات المراحل للحصول على إخصاب جيد من $U-235$. غاز UF_6 المخصب (بعد المرور خلال الحاجز المثقب) يتم جمعه، ضغطه وتبريده قبل تدفقه إلى المراحل التالية من شلال الانتشار (Diffusion Cascade). العملية يمكن أن تتم عند ضغط أقل من الضغط الجوى وذلك لإطالة متوسط المسار الحر لجزيئات الغاز (أى مسافة رحلتها بين التصادمات). للفصل الكفؤ فإن هذه المسافة يجب أن تكون ضخمة مقارنة إلى حجم ثقب الحاجز. خلافا لذلك، بدلا من الحالة المرغوبة للفصل الفردى لانتشار جزيئات الغاز خلال العازل، يتم تبخير خليط الغاز إلى منتجات العازل (يسمى - تدفق الكتلة - Mass Flow) مع قليل أو بدون إخصاب.

٢ - عملية الانتشار الحراري:

طريقة إثراء اليورانيوم هذه مبنية على مبدأ أنه في حالة وجود انحدار في درجة الحرارة في خليط من سائلين أو أكثر، فإنه يحدث انحدار (ميل) في التركيز، حيث الجزيئات الأخف تميل إلى التركيز في المناطق عند درجة الحرارة الأعلى. المعدة المستخدمة في هذه العملية تتكون من سلسلة من أعمدة الانتشار (Series Of Diffusion Columns)، كل عامود يحتوى على ماسورتين متحدة المركز (Concentric)، الماسورة الداخلية يتم تسخينها والخارجية يتم تبريدها. يتم تحويل اليورانيوم الطبيعي إلى هكزافلوريد اليورانيوم ($UF_6 = U^{238}F_6 + U^{235}F_6$) ويتم استمرار التدفق المعاكس في المساحة الحلقية بين المواسير، تيار التدفقات لليورانيوم المخصب إلى أعلا العامود ملاصقا للحائط الساخن للمساحة الحلقية والتيار المستنزف (Depleted) يتدفق إلى أسفل العامود قريبا من الحائط البارد للمساحة الحلقية. الأعمدة هذه يتم توصيلها في نظام الشلال الهابط (Cascade)، التيار المخصب من أحد الأعمدة يصل من خلال ماسورة (Piped) إلى العامود التالي "الأعلى" "UP" (Cascade)، التيار المستنزف يصل من خل ماسورة إلى العامود التالي "إلى أسفل" "Down" وهكذا. هذه الطريقة عموما تنتج يورانيوم مخصب جزئيا والذي يمكن زيادة إخصابه بالطريقة بالكهرومغناطيسية.

٣ - الطرد المركزي للغاز (Gas Centrifuge Process)

إثراء اليورانيوم بهذه الطريقة مبنى على حقيقة أنه عند تعرض خليط سائل إلى قوة الطرد المركزي في وحدة الطرد المركزي الأنبوبية عالية السرعة، فإن المكونات الثقيلة تميل إلى الانفصال من المكون الأخف بسبب عدم تساوى قوة الطرد المركزي لهم طبقا لاختلاف كتلتهم. يتم تحويل اليورانيوم إلى سداسى فلوريد اليورانيوم حيث يرسل إلى الطرد المركزي حيث يدور عند سرعة عالية جدا. تيارات سداسى فلوريد اليورانيوم. المخصب والمستنزف (Depleted) يتم إزالتهم من مخارج منفصلة. درجة الإخصاب في مرحلة واحدة من العمل تعتمد على سرعة الطرد المركزي وتتناسب مع الفرق في الوزن الجزيئي للمكونات الثقيلة والخفيفة. نظرا لأنه يوجد اختلاف يقدر بحوالى ثلاث وحدات وزنيه بين كل من U-235، U-238، فإن استخدم عملية الطرد المركزي للغاز يؤدي إلى فصل كبير أو عامل الإخصاب يزيد عن عملية الانتشار الغازية حيث درجة الإثراء في مرحلة واحدة هي دلالة لنسبة الوزن وليس لفرق اوزن. في عملية الطرد المركزي، درجة

الإخصاب تختلف طبقاً لقدرة الطاقة الرابعة للسرعة، عند ثبات كل العوامل الأخرى، والذي يتضمن أن مضاعفة السرعة، سوف تزيد إنتاج الإخصاب بمعامل ستة عشر.

عملية الإخصاب الكهرومغناطيسية:

Electromagnetic Enrichment Process

هذه العملية مبنية على مرسمة الطيف (Spectrograph). في هذه العملية غاز سداسي فوريد اليورانيوم (UF_6) المؤين المنتج إما بالانبعاث الحراري الأيوني (Thermoionic) أو بالقذف، اليكترتوني ويتم تعجيله بنظام كهربى والشعاع الناتج يتم تعريضه في مجال مغناطيسى حيث تنحرف الأيونات في ممر منحنى، درجة الانحراف تكون دلالة للكتلة. الإخصاب يصاحبه وسائل جمع الشرائح الموضوعة في ممر الأيون. هذه العملية تعمل بطريقة دورات زمنية متعاقبة (Cycle) (أى غير مستمرة) وتحت تفريغ عالى. رغم أن هذه العملية تساعد على الإثراء الكبير فى عملية واحدة ولكن كمية المادة التى يمكن معالجتها فى وحدة واحدة صغيرة جداً.

طريقة الإخصاب بالفتحة الصغيرة (Nozzle Enrichment)

هذه الطريقة تم استحداثها فى ألمانيا، حيث تستخدم الانحدار فى الضغط فى نفث أسرع من الصوت (Supersonic Jet) لتأثير فصل نظائر اليورانيوم. التغذية بالغاز المحتوى على ٥٪ من جزئيات سداسي فلوريد اليورانيوم، ٩٥٪ من غاز الهيليوم (يضاف الهيليوم لزيادة سرعة البثق - Jet) تجتاز حائط منحنى ينتج عنه إثراء المكون الأثقل عند سطح الحائط. يتم وضع طرف سكينه لتقسيم الغاز إلى قسمين، القسم الثقيل ذو التركيز الزائد من U-238 والجزء الخفيف من U-235. استهلاك الطاقة لوحدة عمل الفصل فى طريقة البثق هذه تكون حوالى ضعف تلك لعملية انتشار الغاز.

عملية الإثراء بالليزر: (Laser Enrichment Process)

حالياً فى مرحلة التجارب العملية فى الولايات المتحدة تجرى عملية الإثراء بالليزر، تشمل هذه العملية عملية التآين على مرحلتين لليورانيوم - ٢٣٥ مع فصل نظائر اليورانيوم بكتلة مرسمة الطيف (Masspectrograph). يتم تأين اليورانيوم فى فرن ثم إضاءته بشعاع (Xenon Laser) [الإكزيتون عنصر غازى خامل، الليزر معناها تضخم الضوء بالانبعاث الإشعاع المنشط أى - Light Amplification By Stimulated Emission Of Radiation] عند التردد الذى عنده تحدث إستثارة

الذرات، ولكن لا تحدث إثارة الذرات U-238. يتم عندئذ تشعيع بخار اليورانيوم بواسطة بشعاع ليزر الكربتون (الكبريتون هو عنصر غازي خامل - Krypton) الذي يؤين ذرات U-235 التي تم إثارتها (Excited)، والتي عندئذ تنحرف في مجال كهربى ويتم جمعها. فى المرحلة الواحدة، الكفاءة النظرية هى أكثر من ٩٠٪ والإثراء (التخصيب) حتى ٣٪ وهذا ما تم تحقيقه بهذه العملية.

المشاكل المصاحبة لهذه التقنية هي:

– استعداد اليورانيوم عند ٢١٠٠ م (درجة حرارة التبخر) لعمل سبيكة مع معادن أخرى.

– الحاجة إلى تطوير ليزر عالى الطاقة قادراً على العمل باستمرار عند ترددات معينة.

– الحاجة إلى خفض شحنة تعادل أيونات U-235 التي تحدث خلال التصادمات فى خليط الغاز.

بعض الطرق الأخرى المعروفة لإخصاب اليورانيوم تشمل التقطير الجزئى لـ (UF₆) والتقطير الجزئى (Molecular Distillation Or Fractional).

الجدول الآتى يعطى مقارنه لعمليات تخصيب اليورانيوم:

اسم العملية	معامل الفصل	استهلاك الطاقة النوعية كيلوات/كجرام USW/YR	تكاليف رأسمالية دولار/كجرام USW/YR
الانتشار الغازي	١,٠٠٤٣	٠,٢٦٦	١٠٠
الانتشار الحراري	—	٦١	—
الفصل بالثق	١,٠١٥	٠,٦٥٦	١٦٤
التقطير الجزئى FU6	١,٠٠٠٠٩	٠,٦٢	١٢٦
التقطير الجزيئى	١,٠٠٤٣ >	٠,٠٧٣ >	—

$$\text{USW/ Yr} = \text{Unit Separation Work / Year}$$

الانتشار الحرارى وعملية الإخصاب الكهرومغناطيسي التي تم تطويرها أثناء الحرب العالمية الثانية انتشرت الآن ومعظم المحطات فى الدول الغربية تستخدم الانتشار الغازى (Gaseous Diffusion). معظم محطات الإخصاب بالانتشار الغازى تحت الإنشاء فى

فرنسا وفي الولايات المتحدة الأمريكية. محطات الإخصاب في الولايات المتحدة المستخدمة لعملية الطرد المركزى ثم إقامتها بواسطة ألمانيا، هولندا، وإنجلترا طبقا لاتفاق مبنى على عملية الفصل بالثق (Zozzle). عملية الإخصاب بالليزر جذبت الإنتاج وقد تصبح عملية للإخصاب التجارى. باكستان يحتمل ان تستخدم الإخصاب بالطرد المركزى حاليا - الهند ليس لديها وحدات الإخصاب اليورانيوم حتى الآن.

٢ - التخلص من المخلفات المشعة : (Radio active Waste Disposal)

توجد مشكلة التخلص من المخلفات المشعة المصاحبة لعمل المفاعلات النووية، وهذه المخلفات بمستويات مختلفة التى تنتج أثناء المعالجة الكيميائية للوقود المشع للمفاعل، معالجة محاليل ناتج الانشطار، الأداء العام فى المعمل الكيميائى الإشعاعى، العمليات التحليلية بالمواد ذات النشاط الإشعاعى، عمليات الغسيل لإزالة الملوثات من مهمات الحماية.. الخ. تلك الملوثات لا تشكل فقط خطورة كيميائية كامنة ولكن خطورة إشعاعية إلى درجة كبيرة جدا. التخلص من تلك المخلفات، التى يمكن أن تكون اما صلبة، أو سائلة أو غازية، تشكل مشكلة كبيرة فى الصناعة النووية. طبقا لطبيعة المخلفات ومستوى نشاطها، توجد طرق عديدة للتخلص منها والتى تشمل الآتى :

التخلص الأرضى (Land Disposal)

- الدفن تحت الأرض قرب موقع إنشاء المفاعل.
- الدفن تحت الأرض فى مواقع خاصة طبيعية.
- الحفظ فى خزانات تحت الأرض.

التخلص فى البحر : (Sea Disposal)

- التخلص المباشر فى البحر.
- التخلص تحت البحر فى أوعية خرسانية.

المخلفات الصلبة والغازية :

المخلفات الصلبة القابلة للاحتراق ذات إشعاعية منخفضة يتم حرقها فى محارق تعد خصيصا، وبذا يقل حجمها. الأبخرة، الغازات والرماد الناتج أثناء الحرق يتم إحكامه عن قرب. الغازات قبل انطلاقها إلى الجو يتم مرورها خلال المرشحات ووحدات غسيل (Scrubbers) لإزالة المادة المشعة العالقة. الرماد المشع يتم إحكامه بحرص وخلطه مع

المخلفات عالية الإشعاعية، المخلفات الغير قابلة للاحتراق التي يمكن أن توضع فى وعاء مناسب وإلقائها فى البحر أو أن يتم دفنها تحت الأرض فى موقع تخلص مناسب يتم اختياره لهذا الغرض. الدفن هو طريقة آمنة للتخلص من المخلفات. ولكن فى حالة التصاق المخلفات المشعة مع المياه الجوفية، فإنه يمكن أن تسبب التلوث لمصادر مياه الشرب.

المخلفات السائلة: (Liquid Wasts)

طبقا لمستويات النشاط فإن المخلفات السائلة تنقسم إلى ثلاث أقسام:

- مخلفات ذات مستوى عالى.
- مخلفات ذات مستوى متوسط.
- مخلفات ذات مستوى منخفض.

الحجم الكبير من محاليل مخلفات نواتج الانشطار من المعالجة الكيميائية لوقود المفاعل يتم تركيزه إلى حجم صغير بالتبخير ثم الحفظ فى خزانات من الصلب المقاوم لسنين كثيرة حتى موت النشاط الإشعاعى المصاحب لنواتج الانشطار، بعد ذلك يمكن التخلص فى البحر.

تثبيت المكونات المشعة للمخلفات على الطفل وعلى التربة هى طريقة أخرى للتخلص من المخلفات السائلة عالية المستوى. الطفل يمتص نواتج الانشطار من المحلول ويصبح مثبتا على محلول الطفل عند حرق الطفلة عند درجة حرارة عالية. هذه طريقة جيدة للتخلص من المخلفات لرخص تكلفتها وتوفر الطفلة وسهولة التداول. أحيانا يتم خلط محلول مخلفات عالى الإشعاع مع الأسمنت البورتلاندى التى تتحول إلى المونة الأسمنتية وأخيرا يتم التخلص منها فى أوعية مانعة للتسرب فى عمق البحر أو الدفن فى تربة مثبتة.

تبذل جهود لإزالة المخلفات عالية الإشعاع عند أو قريبا من مكان المفاعل النووى. إزالة التلوث فى أحجام أصغر يكون عادة أسهل فى التداول، وأقل خطورة وأقل تكلفة عن تداول كمية ضخمة من المخلفات.

المخلفات ذات المستوى المتوسط، كمثال للمخلفات من المراحل الأخيرة من وحدة استخلاص البلوتونيوم، عادة يتم تخزينها لعدد قليل من السنين، بحيث أن تموت

الإشعاعية بما يكفي للصرف إلى البحر بعد استخدام المعالجة البسيطة للمخلفات ذات المستوى المتوسط.

المخلفات ذات المستوى المنخفض يتم صرفها في البحر بعد عمل معالجات بسيطة التي تشمل التعادل يليه المعالجة بمعامل مكونات للزغبات (Floc) التي يمكن إزالتها بمرور المحلول خلال المرشحات الرملية. تقنيات التبادل الأيوني تستخدم كذلك للمعالجة ذات المستوى الصغير أو للمحالييل ذات النشاط الإشعاعي المنخفض . في إزالة الأيونات كهربيا (Electro-deionization) المستخدمة للعمليات على المستوى الصغير للمخلفات المشعة، يتم مرور المحلول خلال طبقة مكونه من خليط من راتنجات الآن أيونات والكاتأيونات، يتوسط ما بين غشاء نفاذ أن أيوني وكاتأيوني الذي خلاله يتم استخدام فرق جهد لتيار ثابت حيث ينتج تركيز للمادة النشطة في غرف القطب وبذا يقل المحتوى من المادة المشعة من السائل الخارج من طبقة الراتنج.

المبردات خلال عمل المفاعل تكون معرضه لإشعاع النيوترون وتصبح ذات طبيعة مشعة. يجب تنقيتها إلى درجة كبيرة قبل تركها في الجو. في الطريقة البيولوجية لمعالجة المخلفات المشعة، المحالييل المشعة يتم ترشيحها في مرشح زلطى محتويا على ركام دياتومي (غنى بمادة بيولوجية مناسبة مثل التراكمات البيولوجية) بذا يتم خفض نشاط المحالييل.

مهمات الحماية، مثل المعاطف العملية، أغطية الرأس، غطاء الحذاء وقفازات المطاط والجلد... الخ تكون ملوثة بالمواد المشعة، غسيلها ينتج عنه مياه غسيل مشعة والتي يتم التخلص منها كذلك بنفس الطريقة للتخلص من المخلفات ذات المستوى المنخفض.

لقد خطط الأمريكان لإطلاق المخلفات المشعة في أوعية مناسبة خارج الجاذبية الأرضية للتخلص منها.

ولكن، كل تلك الحلول لمشاكل المخلفات تواجه صعوبة في النقل، والتداول لتلك المواد شديدة الخطورة. حفظ المخلفات في أوعية تحت الأرض يعتبر مكلف ولا يخلو دائما من الخطورة. أى قرار بخصوص التخلص من المخلفات يجب أن يتم مع مراعاة الأمان، الاقتصادية، ومدى مناسبته.

الفصل الخامس عشر

الاندماج النووي وإنتاج الماء الثقيل.

١- الاندماج (Fusion)

المفاعلات (الحرارية النووية) (Thermonuclear Reactors)

مبدأ الاندماج:

على عكس الانشطار النووي، حيث ينشط عنصر ثقيل مثل U-235 إلى جسيمات أصغر مطلقا كمية مهولة من الطاقة فإن الاندماج النووي يحدث عند اتحاد نويتين خفيفتين أو يندمجا لتكوين نواه لعنصر أثقل نسبيا الذي يصاحبه إطلاق طاقة. عناصر الاندماج المثالية هي الديتيريوم والتريتيوم (وهما نظائر الهيدروجين) عند الاندماج يكونا عنصر جديد له كتلة أقل من مكونات التفاعل الأصلية. الفرق في الكتلة هذا هو الذي يتحول إلى طاقة التي يمكن استخدامها لتوليد الطاقة الكهربائية.

اندماج النويات الخفيفة مثل الديتيريوم (D) والتريتيوم (T) يحدث بمعدل مناسب عند درجة حرارة عالية جدا حوالي مليون درجة حرارة مئوية. لذلك فإنها تسمى التفاعلات الحرارية النووية والمفاعل المستخدم لهذا الغرض يسمى المفاعل الحراري النووي والذي مازال في مرحلة التطوير. نويات العناصر يصد كمل منهما الآخر لكونهم جميعا لهم شحنات موجبة ويمكن أن يندمجا فقط في تصادمات ذات طاقة عالية بما يمكن من التغلب على تنافرهم الكهروإستاتيكي. مثل هذا الارتطام يمكن فقط حثه برفع درجات حرارتهم وبذا إكسابهم الطاقة الحركية الضرورية للتغلب على التنافر الكهربى وجعلهم محجوزين ومقيدين بحيث احتمال أن يصطدم أحدهما بالآخر. بمجرد بدء تفاعل الاندماج، فإن الطاقة المنطلقة تكون كافية لاستمرار الحرارة والمحافظة على استمرار العملية.

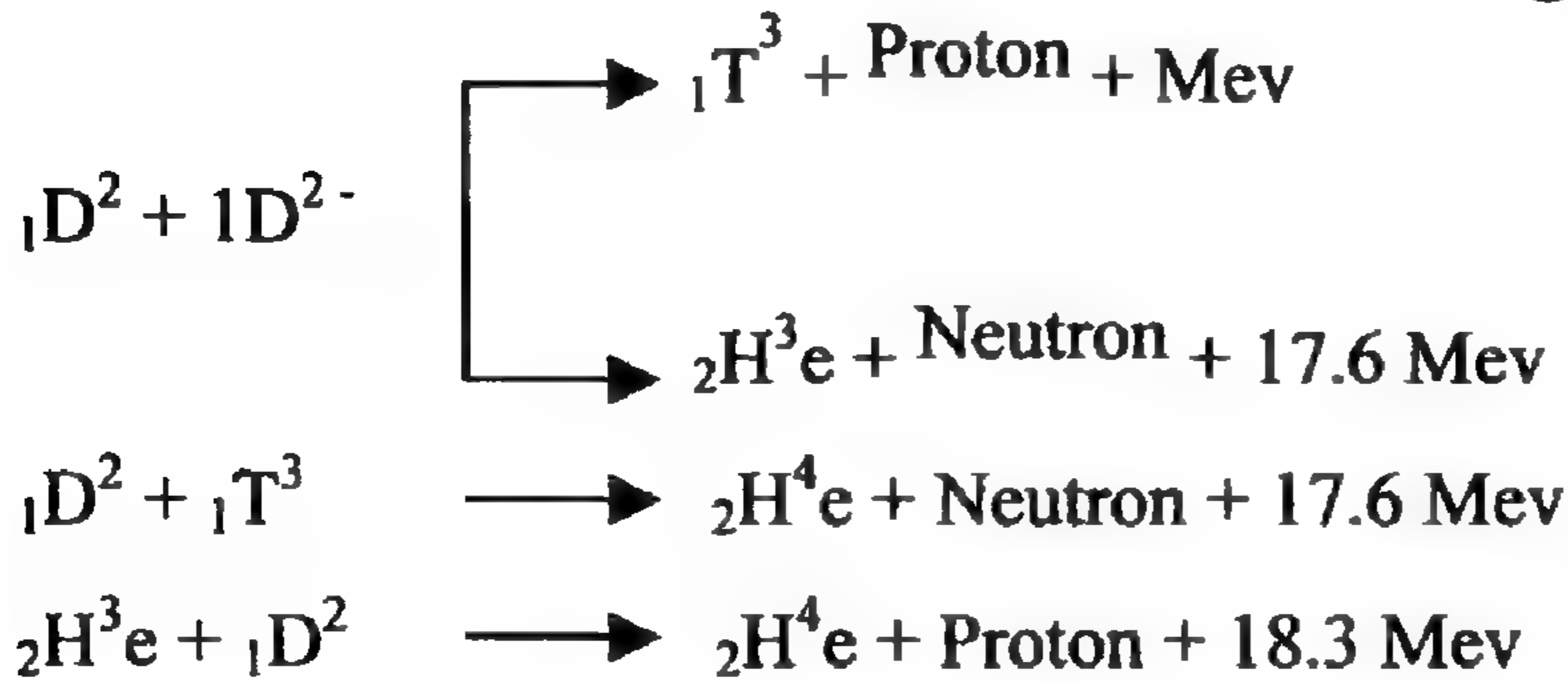
الاندماج يوفر طاقة الانفجار لقنبلة الهيدروجينية وهو المصدر الرئيسى للطاقة الشمسية. ولكن عند درجة حرارة مرتفعة جدا فإن كل المواد تتحول إلى البلازما (Plasma) - غاز كمؤين يحتوى على أعداد متساوية تقريبا من الأيونات الذرية المؤينة والإلكترونات الحرة الطليقة - وهى تعتبر حاليا إحدى حالات المادة - أى خليط من الإلكترونات والنويات موجبة الشحنة، - نظرا لأنه لا توجد مادة تستطيع البقاء عند

درجة حرارة الاندماج، فإنه تم تبني عدة طرق لخلق الظروف الضرورية لحدوث هذا الاندماج. التحكم في تفاعل الاندماج النووي لإنتاج الطاقة، في حالة تطويره بنجاح سيكون مصدر لا نهائي للطاقة.

وقود الاندماج والمفاعلات : (Fusion Fuels And Reactors)

الهيدروجين، أقل العناصر في الرقم الذري هو الوقود الرئيسي للاندماج لطاقة الشمس والنجوم. ولكن اندماج ذرة الهيدروجين بطيء جدا ليكون له أهمية عملية لتفاعلات الاندماج على الأرض. ولكن كلا من الديتيريوم والتريتيوم وهما نظيري الهيدروجين يحدث لهما الاندماج أسرع وأسهل تحت نفس الظروف.

الديتيريوم وهو نظير ثابت ومستقر يوجد بوفرة في مياه البحر بينما التريتيوم وهو نظير مشع غير مستقر يمكن إنتاجه صناعيا بقذف النيوترون على الليثيوم المتاح بوفرة. كلا من الديتيريوم والتريتيوم هما المصادر الواعدة لتفاعلات الاندماج النووي المحكمة. بعض تفاعلات الاندماج الكامنة موضحة كالتالي:



المشاكل الفنية المصاحبة للاستغلال التجاري لطاقة الاندماج:

مبدأ الاندماج يبدو بسيطا ولكن المتطلبات العملية يبدو انه من الصعب تصديقها عمليا.. درجة الحرارة المطلوبة تكون في حدود ١٠٠ مليون درجة مئوية أو أكثر. داخل الشمس والنجوم يحدث الاندماج عند درجة حرارة أقل ذلك بسبب الضغط المروع والهائل الذي لا يمكن خلقه على الأرض. في القنبلة الهيدروجينية يحدث انفجار الانشطار الأولى للحظة واحدة درجة حرارة مرتفعة لا تصدق التي تنشط سلسلة الانفجار لتفاعلات الاندماج. ولكن التحكم في تفاعلات الاندماج لا يمكن استخدامها أو استمرارها بانفجار الاندماج.

عند درجة حرارة أقل كثيرا من درجة الحرارة المطلوبة للاندماج، فإن كل المواد تتحول إلى حالة البلازما. لذلك، تكون المشكلة ذات شعبتين وهما خلق واستمرار درجات الحرارة المرتفعة، وكذلك لاستمرار حجز البلازما واحتوائها. ربما يكون الحجز للبلازما هو العمل شديد الصعوبة، ذلك لأنه لا توجد مادة معروفة يمكن أن تحتوى هذا الغاز الساخن والذي يستعدى فكرة العزل المغناطيسى لبلازما.

الاندماج المحكم: (Controlled Fusion) :

لإمكان حدوث الاندماج المحكم يكون من الضروري تسخين الديتيريوم أو خليط الديتيريوم - التريتيوم إلى درجة حرارة مرتفعة جدا والمحافظة عليها بدون أى فقد كبير لمدة جزء من الثانية. يوجد أسلوبين منفصلين يتم بحثهم لإحكام تفاعل الاندماج.

الطريقة الأولى : تهدف إلى استخدام مجالات مغناطيسية لحجز البلازما. ثم بناء

عدد من التجهيزات التجريبية باستخدام تقنية حجز مغناطيسية كما يوجد تحسن مستمر فى خلق حالات وقت الحجز لدرجة الحرارة / الكثافة الضرورية لتوليد الطاقة من الاندماج. الهدف الأساسى فى برنامج التطوير هذا هى للحصول على حالات البلازما بحيث ان يتم توليد الطاقة العالية فى تفاعل الاندماج كما هو مطلوب لتشغيل المعدة.

الطريقة الثانية : للحصول على حالات الاندماج باستخدام الليزر على الطاقة لضغط

كره صغيرة من الديتيريوم والتريتيوم . رغم ان كلا الطريقتين تحتاج إلى درجة حرارة فى حدود ١٠٠ مليون درجة مئوية ولكن طبيعة عملية الاحتواء المغناطيسى تكون بحيث كثافات الوقود فى البلازما تكون منخفضة نسبيا وبذلك فإن زمن الحجز والاحتواء يجب أن يكون كبيرا نسبيا. المشكلة الرئيسية مع الاندماج بالاحتواء المغناطيسى هى الحصول على حالات بلازما ثابتة، بينما الاندماج بالليزر هو لتوليد وتركيز طاقة كافية على كره الوقود للحصول على كثافة الوقود المطلوبة.

من بين العديد من نظم الاحتواء (بمختلف الشرح والتوضيح مثل الآبار، القنينات، المرايا.. الخ، المطورة لحجز البلازما والإمساك بها فى حالة مضغوطة، فإن النظام الواعد هو نظام توكاماك (Tokamak) الذى تم تطويره بواسطة الاتحاد السوفيتي، والذي يستخدم فى دول أخرى كذلك، يتم تسخين البلازما بواسطة تيار كهربى قوى وحجزها مغناطيسيا فى غرفة مفرغة ملف حلقي أو مقفل المجال (Toroidal). التيار نفسه ينتج حجز مغناطيسى (Magnetic Held)، بينما الملف المخصب للنتوء المستدير (Enriching

The Torus) ينتج واحده أكثر قوة، وهما معا ينتجا مجال مغناطيسى لولبى حلزوني الذى يمنع جسيم البلازما من الهروب السريع إلى حوائط الوعاء.

ولكن فى الاحتواء بالقصور الذاتى (الكسل والجمود) (Inertial Confinement) تكون كرات وقود الاندماج مطحونة إلى الكثافة الفائقة بواسطة الليزر وإشعاعات الاليكترونات.

التقدم التجريبي فى الاندماج المحكم:

الظروف الطبيعية للاستمرار الذاتى لتفاعلات الاندماج أصبحت الآن معروفة جيدا وموضحة. هذه الظروف تحتاج إلى حد كبير نظام احتواء مغناطيسى متقدم الذى تمت بناءا عليه الطرق المختلفة المحتملة والتي اقترحت وحاليا هى تحت الدراسة والبحث. أهم هذه الدراسات هو تأثير الضغط والتضييق (Pinch Effect) الذى يشكل الأساس لبعض التجهيزات التجريبية التى سيتم شرحها:

زيتا (Zeta): ماكينة الضغط التجريبية البريطانية والتي تتكون من أنبوب فى شكل أنبوبة حلقيه (Doughnut) (بقطر متوسط ٩ قدم وثقب ٣ قدم) مزودة بقضيب حديد داخل ملف المحول (Iron Core Of Trans former). تم تمرير تيار عالى جدا خلال البلازما فى جزء من الثانية. رغم الوصول إلى درجة حرارة ٥ مليون درجة مئوية ولكن النيوترونات المنبعثة لم تثبت أنها من مصدر حرارى نووى.

أجهزة (Columbos And Perhapsatron):

كلا هذين الجهازين فى المعمل العلمى فى الولايات المتحدة. حيث استخدم الجهاز الأول أنبوب انضغاط مستقيم حتى وصلت درجة الحرارة ٣ - ٥ مليون درجة مئوية لنبضات لواحد على عشرة آلاف من الثانية (Micro Second) أو أقل حيث كل نبضة تبعث 10^{10} ، 10^{11} نيوترونات. الجهاز الثانى أنتج درجة حرارة ٦ مليون درجة مئوية لمدة ٢ ميكرو ثانية فى أنبوب انضغاط مثبتة حلقيه، كل نبضة منتجة 10^{10} نيوترونات.

جهاز (Stellarator): هذا جهاز فى جامعة (Princeton) الأمريكية، ويستخدم نوعين من الأنابيب. احدهما فى شكل حلقة المرساه (Torus) وبها مجموعتين من لفائف الأسلاك (Coils) - ملفوفة حلزونيا داخليا وخارجيا فى شكل دائرى. الأنبوبة الخارجية لها ملف أسلاك دائرى بسيط. المجال المغناطيسى الخارجى المستخدم للاحتواء المغناطيسى فى هذا الجهاز، يميل إلى النبات ضد اضطرابات معينة. من بين الطريقتين

المستخدمتين للتسخين، هما طريقة التسخين بمقاومة الدائرة للتيار المستمر (Ohmic Heating) حيث أمكن الحصول على درجة حرارة قدرها مليون درجة مئوية. سريان التيار خلال الغاز يتم حثه بتزويد الأنبوب بلب من الحديد وتمرير التيار خلال الملفات (Coil). هذا يجعل أنبوب (Stellaror) الثانية للمحول عندئذ يحدث التسخين من سريان التيار خلال البلازما.

طريقة الضخ المغناطيسى (Magnetic Pumping) المستخدمة فى الحصول على درجات حرارة أعلا، تتكون من نبضات من المجال المغناطيسى فى مجال التردد اللاسلكى المنخفض بحيث تتقابل مع أحد الفترات الطبيعية للغاز - الوقت اللازم لجسم للمرور خلال مقطع الضخ أو الوقت بين التصادمات فى الغاز - أقصى حرارة يتم إضافتها. من المأمول به أن تصل إلى ١٠٠ مليون درجة مئوية فى جهاز استلارتر.

ماكينة المرآة: (Mirror Machine)

تحت التطوير فى جامعة كاليفورنيا فى معمل الإشعاع، وذلك بتشكيل الملفات حول أنابيب مستقيمة، ماكينة المرآة هى حرفيا قنينة مغناطيسية، البلازما الساخنة تكون محتجزة فى الجزء المركزى للأنبوب (الذى فيه التيار عند طل طرف يكون عند قوة أعلا من الجزء المركزى) بمجال متجانس الذى يحافظ على البلازما بالبدا من مجال مغناطيسى مستقر ثم بناؤه بالتدريج إذا أمكن بعيدا عن الجدار. نهاية " المرآة " تعكس الجسيمات ثانيا إلى الماكينة. يمكن تسخين البلازما تحقيق تفاعل الاندماج فى ماكينة المرآة، فإن عملية حدوث تسخين البلازما يمكن استخدامها فى استخلاص الطاقة.

تجربة التيار المباشر: (Direct Current Experiment)

هذه الجهيزة فى المعمل الأمريكى الوطنى وهى تجمع الاحتواء المغناطيسى مع حقن الجسيمات المعجلة. يتم الحقن ٦٠٠ كيلو إلكترون فولت (600 Kev) من أيونات الديتيريوم الجزئى فى مجال الاحتواء المغناطيسى (والذى يدور خلال المجال ويعود لطرق المصدر الذى فيه التفريغ الكهربى يعمل على تحليل الأيون، انشطاره إلى ذرة ديتيريوم المتعادلة وأيون الديتيريوم الحامل للشحنة الذى يدور فى مدار نبض نصف القطر الأصلى (بسبب نصف كتلته السابقة) وبذا يتم احتجازه. من المأمول بناء بلازما محتجزة ذات درجة حرارة عالية بحقن الأيونات. حاليا طبيعة والمتغيرات القصوى لعدم النبات التى وجدت فى كل تجربة تم فهمها جيدا. التجارب الأخرى تهدف إلى

استخدام أشكال هندسية من مجال مغناطيسي في شكل رأسى. مؤنف (قرنه - Cups) كمجال الاحتواء للحصول على بلازما ذات احتواء ثابت. فى مجال الاحتواء يشكل القرنة (نقطة مزدوجة يتطابق عندها مماسا المنحنى)، خطوط القوى المغناطيسية تنحني فى أى مكان بعيدا عن البلازما بما يحقق الثبات النظام الاحتواء وكذلك ينتج عنه خفض متطلبات المجال المغناطيسي الخارجى. تجربة أسترون فى أمريكا تقترح استخدام اليكترونات دواره ذات طاقة عالية لإنتاج مجالات مغناطيسية محتجزة. فى هذه التجربة يتم قذف اليكترونات ذات طاقة عالية جدا فى غرفة أسطوانية مقدره، فى وجود مجال مغناطيسي خارجى مسلط بحيث أن تعمل تلك الاليكترونات مدارات دائرية. مع استخدام اليكترونات زيادة، فإنها تكون طبقة أو سطح اسطوانى المعروف بـ (Leyer - E) الذى يخلق مجاله المغناطيسي، الذى يعمل على مجال خارجى مسلط، بما ينتج عنه خطوط قوى مغناطيسية التى تنغلق على نفسها. القنينة المغناطيسية الناتجة يمكن أن تحتوى البلازما بشكل ملائم. كذلك فإن الاليكترونات ذات الطاقة العالية للطبقة E - (E-layer) تؤين الذرات المتعادلة للوقود الذى يتم حقنه (الديتيريوم / أو التريتيوم) مكونا البلازما المحتجزة فورا بنظام خطوط المجال المغناطيسية المقفل. الاليكترونات فى البلازما تكتسب طاقة من اليكترونات الطبقة E (نتيجة التصادمات)، حيث يتحول جزء منها إلى أيونات. درجة حرارة الأيونات فى هذه الحالة يمكن أن تزداد إلى الحد حيث يحدث تفاعل الاندماج بمعدل مناسب.

مشروع اندماج آخر يسمى (JET) للاندماج النووى فى إنجلترا والذى يهدف إلى احتجاز الطاقة من اندماج ذرات الهيدروجين. يتكون جهاز جيت من غرفة تفريغ، مجال مغناطيسي حلقى (Toroidal) ومحول وهو أساسا تجهيز لاحتواء الجسيمات المؤينة للبلازما لفترة طويلة كافية . نصف ثانية) لحدوث تفاعل الاندماج . اكتمال تجارب برنامج حيث سيكون كافيا لوضع الأبعاد ، المعايير وسلوك البلازما المتوقع فى تفاعل الاندماج المستقبلى.

مميزات مفاعلات الاندماج:

- الوقود المطلوب لمفاعل الاندماج أى الديتيريوم متاح بوفرة فى مياه البحر.
- وقود الاندماج الثانى أى التريتيوم يمكن تصنيعه بسهولة بالقذف بالنيوترون لعنصر الليثيوم.

- بسبب وجود كمية صغيرة فقط فى مفاعل الاندماج فى وقت معين ، يكون آمنا للتشغيل.
- مفاعلات الاندماج ستكون خالية من المفرقات أو التفاعل الخاطف الذى يحدث فى مفاعل الانشطار.
- نظرا لأن المنتج النهائى للاندماج سيكون له طبيعة غير إشعاعية فإنه لا توجد مشكلة المخلفات المشعة التى يلزم التخلص منها كما فى حالة مفاعلات الانشطار.
- الطاقة من مفاعل الاندماج تكون أقل فى التكلفة مقارنة لتلك من المصادر الحالية التقليدية.
- وزن معين من الديتيريوم عند الاندماج يمكن أن يوفر الإمداد بأربع أضعاف الطاقة التى تنتج بالانشطار بنفس الوزن من وقود اليورانيوم.
- فى نظام الطاقة الحرارية النووية الذى يعمل بالديتيريوم ، فإن حوالى ٣٠٪ من الطاقة المنتجة يمكن تحويلها مباشرة إلى طاقة كهربية بمجرد تمدد البلازما الساخنة أى بدون دورة تحول حرارى. فى حالة خليط الديتيريوم - تريتيوم حوالى ٢٠٪ من الطاقة المولدة يمكن تحويلها مباشرة.

أبحاث الاندماج (Eusion Research)

عدد كبير من المؤسسات البحثية والتعليمية فى الدول المتقدمة مشغول حاليا بأبحاث الاندماج ، معظم أبحاث الاندماج حاليا مبنية على الاحتواء المغناطيسى (Magnetic Confinement) حيث كثيرا من الجهود توجه حاليا نحو التحكم فى عدم ثبات البلازما. التقدم الثابت يتم لإيجاد درجة حرارة أعلا للاستمرار فترة طويلة ولتحسين طرق احتواء البلازما وزيادة زمن الاحتواء والحجز المبادئ الأساسية للاندماج النووى بدأت بدراسة فى عام ١٩٥٤م فى شمال مكسيكو. العمل الجاد على طاقة الاندماج بدء فى عام ١٩٥٠ فى بريطانيا وفى عام ١٩٥١ فى كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى. بدأت الأبحاث نحو الاندماج المحكم فى بريطانيا واستمرت منذ عند عام ١٩٦٣م ، وفى الاتحاد السوفيتى وفى فرنسا وفى ألمانيا الغربية وإيطاليا واليابان. يوجد تبادل كبير فى المعلومات فى هذا المجال فى مؤتمر الاندماج النووى الحرارى المحكم وفيزياء البلازما فى أستراليا برعاية الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٦١م.

الاندماج المحكم فى المفاعل النووى الحرارى سوف يوفر مصدر جديد تماما للطاقة التى سوف تغنى عن كل الوقود الحفرى مثل الفحم، الزيت، الغاز .. الخ وذلك لتوليد الكهرباء. سيكون الاندماج النووى أكثر أمانا وأكثر نظافة، وأقل تكلفة عن الانشطار النووى الذى يتم حاليا فى المفاعلات.

فى حالة اعتبار أن طاقة الاندماج يمكن الحصول عليها وأن كان هناك قليلا من الشك نحو ذلك، حتى أن إمكانيات الأبحاث الكبيرة والتطوير يمكن تبريرها. كلما كانت الاستثمارات عاجلة كلما كان يوم بدء تدفق العائدات. وبمجرد حدوث ذلك، فإن الاستثمارات سوف تظهر كأنها لا شئ. فى حالة توفر طاقة الاندماج على المستوى التجارى، فإن المشاكل العالمية للطاقة سوف تنتهى. اندماج وقود الديتيريوم، المتاح فى ماء البحر، سوف يكون غير منتهى والتريتيوم يمكن الحصول عليه من الليثيوم بفعل القذف بالنيوترون. احتياطي الليثيوم فى القشرة الأرضية سيستمر لعدة آلاف من السنين. لذلك فإنه من المتوقع أن إنتاج الطاقة بالاندماج النووى سيكون مع منتصف القرن الحالى. عمليات الاندماج هذه هى المسئولة عن إحداث كمية الطاقة المهولة فى الشمس والنجوم والقنبلة الهيدروجينية، وفى حالة إحكامها فإنها سوف توفر كل متطلبات الطاقة للعالم لملايين السنين القادمة

٢ - إنتاج الماء الثقيل (Heavy Water Production) :

من المعروف أنه عند اتحاد الهيدروجين والأكسجين كيميائيا فإنه يتكون جزئ الماء. ولكن فى الحقيقة فإن الهيدروجين يوجد فى ثلاث أشكال من النظائر - وهى الهيدروجين الخفيف برقم كتلة واحد والهيدروجين الثقيل (الذى يسمى الديتيريوم - Deterium) برقم كتلة اثنين، والهيدروجين الأثقل الذى يسمى التريتيوم (Tritium) برقم كتلة ثلاثة. الماء الثقيل هو الماء الذى تم إخصابه بمحتوى من الهيدروجين الثقيل (الديتيريوم) ويكون كيميائيا أكسيد الديتيريوم. الماء الثقيل النقى ليس له لون، وهو سائل لا رائحة له وهو سام حيث يعيق النمو لكثير من الكائنات الحية، خواصه الممتازة لتبطئ النيوترون والقطاع الصغير جدا للامتصاص الحرارى للنيوترون يجعله لا يقل عن أربع أضعاف الكفاءة مقارنة بمواد التهدئة الأخرى. كمبرد ، الماء الثقيل يعمل بنفس الطريقة مثل الماء العادى الخفيف بجانب الميزة الهامة لصغر مقطع الامتصاص والفروق الصغيرة بين نقط الغليان والتجمد. لذلك فإن الماء الثقيل كمبرد وكمهدئ مناسب من وجهة النظر الفنية.

بعض خواص الماء العادى والماء الثقيل موضحة فى الجدول الآتى :-

الماء العادى (H ₂ O)	الماء الثقيل (D ₂ O)	الخواص
٠,٩٩٧١	١,١٠٤٥	الجاذبية النوعية عند (٢٥°م)
٢٣٣,٦	٢١٦,١	ضغط البخار، مم زئبق عند ٧٠°م
١٠٠	١٠١,٤٣	نقطة الغليان °م
صفر	٣,٨٢	نقطة التجمد °م
٠,٦٦	٠,٠٠١١	مقطع الامتصاص الحرارى لنيوترون

ولكن الماء الثقيل له سلبيات مثل السعر المرتفع والتبخر. ولكن من وجهة النظر الاقتصادية فإن الفقد من الماء الثقيل قليلا جدا أثناء عمل المفاعل كما يمكن نقله واستخدامه فى أى مكان وفى أى وقت. المساهمة فى تكاليف التشغيل والتكاليف الرأسمالية يمكن خفضها بالخفض فى تكاليف الوقود بما ينتج عنه زيادة زمن الحرق وكذلك استخدام وقود رخيص . ولكن الماء الثقيل يميل إلى التأين فى وجود الإشعاع إلى عناصر مكوناته ولكن الغازات المتكونة يمكن أن يعاد إنتاجها فى وجود عامل وسيط مثل الألومنيا. وجود كمية صغيرة من محلول كبريتات النحاس فى الماء الثقيل، يمكن أن يمنع حدوث تحلل فى وجود الإشعاع. يجب حماية الماء الثقيل من أى نوع من التلوث خشية أن يتحلل. عادة يتم تداوله تحت غطاء من غاز الهيليوم. التكاليف العالية المصاحبة فى إنتاج الماء الثقيل يمكن رؤيتها من حقيقة أن الهيدروجين العادى يحتوى فقط على حوالى جزء واحد من الديتيريوم فى ستة آلاف جزء، بما يجعل الإخصاب عملية صعبة ومجهددة وتتطلب كمية ضخمة من الحرارة أو الطاقة الكهربائية.

العمليات الآتية تستخدم لإنتاج الماء الثقيل:

- التحليل الكهربى للماء.
- تقطير الماء.
- تقطير الهيدروجين السائل يليه حرق الهيدروجين المخصب بالديتيريوم فى الأكسجين لإنتاج الماء الثقيل.
- التبادل الكيميائى للديتيريوم بين الماء والهيدروجين.
- التبادل الكيميائى للديتيريوم بين غاز كبريتيد الهيدروجين والماء.

– التبادل الكيميائي للديتيريوم بين الهيدروجين والأمونيا.

عملية تقطير الماء المبنية على الفرق في درجة حرارة الغليان بين الماء والماء الثقيل لا تسمح بالفصل الكامل حيث يمكن فقط الحصول على ٩٠٪ من أكسيد الديتيريوم. الإخصاب النهائي للمنتج شبه النهائي يمكن عمله بعملية إلكتروليزية. بسبب العملية اللازم عند درجة حرارة منخفضة جدا (٢٥٠°م) فإن

الفصل السادس عشر

الطاقة النووية نعمة أم نقمة.

١- المفاعلات النووية نعمة - أم نقمة:

المفاعل النووى، مثل القنبلة النووية يشمل نفس عملية الانشطار النووى. ولكن الانشطار فى المفاعل يكون مسيطرا عليه ولذلك فإنه لا يتفجر. يتم تبني إجراءات أمن عالية ومكلفة فى تشغيل المفاعل النووى، ولكن أحيانا تحدث أخطاء فى المفاعل والتي تؤدي إلى حادثة.

فشل نظام التبريد فى المفاعل يزيد درجة حرارة قلب المفاعل وعندئذ فإن قلب المفاعل نفسه ينصهر. مثل هذه الحادثة تسمى انصهار المفاعل (Reactor Melt Down) - إشعاع التأين الكثيف الناتج عن الانصهار يمكن أن يعمل على تحليل الماء إلى الهيدروجين والأكسجين. هذا الخليط من الغازات يمكن عندئذ أن ينفجر بما يسبب تدمير قلب المفاعل وكذلك الغلاف الخارجى للمفاعل. عندئذ يحدث انطلاق لكمية ضخمة من المواد المشعة الخطرة إلى الجو.

الحادثة التى شملت انصهار قلب المفاعل كانت فى الولايات المتحدة فى عام ١٩٧٨. وفى عام ١٩٨٦ حدث انفجار فى محطة الطاقة النووية فى تشير نوبل قريبا من كييف فى الاتحاد السوفيتى. الغلاف الخارجى فى حادث الولايات المتحدة ساعد على منع التسرب الاشعاعى ولكن فى حالة حادثة تشير نوبل، حدث تدمير لغلاف الحماية الخارجى بما تسبب فى تلوث البيئة بالمواد الإشعاعية القاتلة.

كلا هذين الحادثين لمفاعلات الطاقة أوجد الشكوك حول أمان المفاعلات النووية. فى عام ١٩٥٠ كانت المفاعلات النووية تعتبر نعمة بالنسبة للعديد من الدول بما توفره من حلول لمشاكل وأزمات الطاقة. وإن كان بعد تلك الحوادث أصبح هذا التفكير محل شك، وقد ظهرت مجموعات من المواطنين قوية ضد الاستخدام النووى. وبعد التوقف عن بناء محطات الطاقة النووية لمدة عشرة سنوات استأنفت الولايات المتحدة الأمريكية بناء المفاعلات النووية وذلك بعد تطوير وتحديث وآلية تأمين عمل المفاعل بما حقق الأمان الكامل لاستخدام المفاعلات النووية لانتاج الطاقة.

٢ - الغواصات النووية : (Nuclear Submarines) :

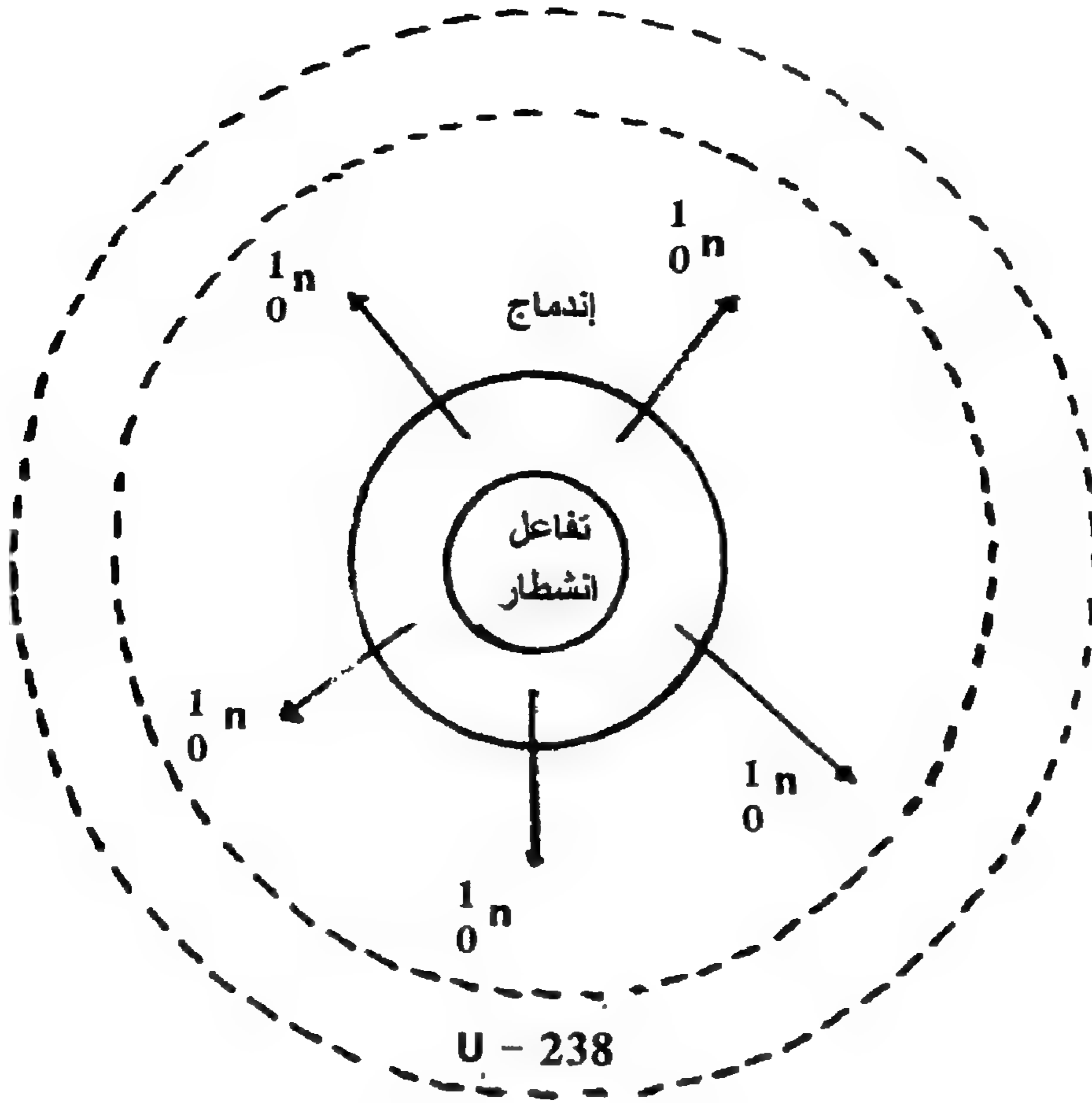
فى الغواصة النووية، كل الطاقة المطلوبة لتشغيلها يتم توليدها باستخدام المفاعل النووى. فى هذا المفاعل يستخدم (UC_2) مع اليورانيوم المخصب لأكثر من ٩٠٪ كوقود. هذا اليورانيوم عالى الإخصاب يمكن المفاعل من أن يكون صغيرا ليتمكن وضعه داخل الغواصة تستخدم الهيليوم كمبرد كما تستخدم قضبان الكاديوم (Cd). للسيطرة والتحكم فى التفاعل المتسلسل. مثل هذا المفاعل يسمى المفاعل عالى درجة الحرارة (High Temperature Reactor - HTR).

٣ - القنبلة الذرية (Atomic Bomb) :

القنبلة الذرية هى تجهيزه لاطلاق كمية ضخمة من الطاقة فى ثوان قليلة بالانشطار النووى. الوقود النووى ($U-235$ or $Pu-239$) يتم وجوده فى أجزاء منفصلة (Segments) فى الحالة دون الحرجة (Subcritical) فى القنبلة. يتم دفع هذه الأجزاء المنفصلة إلى الكتلة الحرجة (Critical Mass) باستخدام مادة تفجير تقليدية مثل مادة تى إن تى (TNT). عندئذ، فإن النيوترونات التى تنطلق وتتحرر (Released) من مركز القنبلة تعمل كزناد قدح (Trigger) للتفاعل المتسلسل بما يؤدى إلى الانفجار. الطاقة الحركية الضخمة للانفجار تدمر المنشآت والمباني والطاقة الحرارية تحرق المواد والإشعاعات النووية تسبب الأذى للإنسان.

فى السادس من أغسطس عام ١٩٤٥ تم إسقاط قنبلة نووية على مدينة هيروشيما فى اليابان وكانت هذه القنبلة تسمى (Little Boy)، وكانت تحتوى على وقود $U-235$. وفى التاسع من أغسطس عام ١٩٤٥ تم إسقاط قنبلة على نجازاكي فى اليابان وكانت تسمى (Fat Man) وكانت تحتوى على ($Pu-239$). كلا هاتين القنبلتين قامتا بالتدمير الشديد للمدنيين وقتلت العديد من آلاف الأشخاص. ولم يكن العالم عندئذ قد شهد مثل هذا التدمير فى حجمه وفى سرعته انتهت الحرب العالمية الثانية بالثالوث المقدس للقنابل وهم الجاميو القنبلة التى فجرت فى نيومكسيكو فى الولايات المتحدة، وقنبلة الولد الصغير وهى قنبلة اليورانيوم التى أحالت هيروشيما إلى بخار، وقنبلة الرجل السمين البلوتونيوم التى طحنت وحرقت نجازاكي.

نموذج للقنبلة الذرية، حيث كتلتين دون الحرجة للمادة الانشطارية يكون فى جزئين



شكل (١٦/١) مخطط لقطبلة النيوترون

يتم دفع جزء نحو الآخر لتكوين الكتلة فائقة الحرج (Supercritical) بواسطة مادة تفجير كيميائية عادة مثل (TNT). هذا يؤدي إلى الانفجار. يحدث انطلاق لكم ضخم من الطاقة الحرارية وكذلك العديد من النويات الاشعاعية القاتلة في هذا الانفجار. الغيار المشع والحطام المتكون من الانفجار النووي يسمى السقوط (Fallout).

وقود البلوتونيوم الخطير (plutonium fuel-perils) :

- البلوتونيوم (PU-239) هو أشد المواد سمية.
- يمكنه أن يسبب سرطان الرئة عند الاستنشاق حتى كمية 10^{-6} من الجرام.
- له نصف عمر طويل 2400 سنة، لذلك فإنه عند إنسيابه في حادث فإن مكان الحادث يظل ملوثاً باستمرار وغير مناسب للعيش فيه.

يمكن أن يسقط في أيدي الارهابيين واستخدامه في إنتاج القنابل الذرية.

SR-90 ومعاهدة تحريم الاختبار النووي:

SR-90 And Nuclear Ban Treaty

إختبار الأسلحة النووية يتم عادة في مكان بعيد مثل الصحراء أو المحيط. مثل هذه الأسلحة تحدث إنشطار نووي. $^{90}_{38}\text{Sr}$ هو واحد من النواتج المشعة التي تتكون عند اختبار هذه الأسلحة، وقد كان اختبار الأسلحة النووية بواسطة بعض الدول هو السبب في دخول Sr-90 إلى الجو. وهي يشبه كيميائيا الكالسيوم ولذلك، فإنه يندمج مع اللبن والعظام. هذا النظير له نشاط بيتا وله نصف عمر 28 سنة. وجود هذا النظير في جسم الإنسان يمكن أن يسبب الكثير من الأمراض. وقد كان هذا السبب في توقيع معاهدة عام ١٩٦٣ بين أمريكا وبريطانيا وروسيا لإيقاف التجارب النووية في الجو.

مثال:

القنبلة النووية التي أسقطت على نجازاكي في عام ١٩٤٥ قتلت ١٠٠٠٠ شخص. وانطلقت منها طاقة تكافئ تلك بواسطة ٢٠٠٠٠ طن من مادة تي إن تي المتفجرة. احسب مقدار الكتلة التي تحولت إلى طاقة في هذا الانفجار النووي.

الحل:

$$\text{واحد طن من مادة TNT} = 4.3 \times 10^9 \text{ جول}$$
$$20000 \text{ طن من TNT} = 4.3 \times 10^9 \times 20000 = 8.6 \times 10^{13} \text{ جول}$$

$$\text{Mev} = \frac{8.6 \times 10^{13}}{10^{-14} \times 16.012}$$

$$(\text{حيث واحد Mev} = 10^{-14} \times 16.012 \text{ جول})$$

$$\text{Mev} = 5.371 \times 10^{26}$$

$$\therefore 931.5 \text{ Mev} = 1 \text{ amu} = 1.6605 \times 10^{-24} \text{ جرام}$$

$$\frac{5.371 \times 10^{26} \text{ Mev} \times (1.6605 \times 10^{-24} \text{ جرام})}{931.5} = 931.5 \text{ جرام}$$

= واحد جرام

٤ - قنبلة النيوترون - القاتل النظيف:

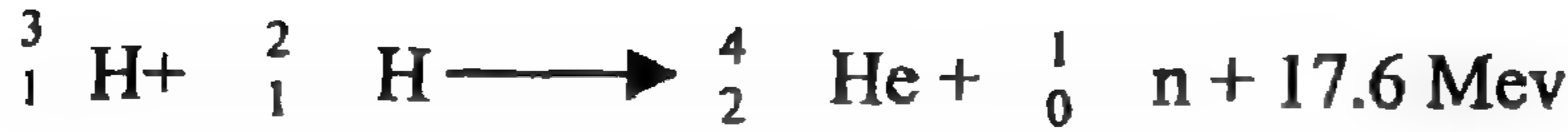
The Neutron Bomb- The Clean killer

قنبلة النيوترون هي تجهيز يجمع ما بين الانشطار والاندماج .

شكل (١٦ / ٢) .

في هذه التجهيزة يستخدم أو لا استخدام الانشطار النووي باستخدام U-235 أو PU-239 .

طاقة الانشطار الناتجة تبدأ فوراً في اندماج H^2 ، H^3 . هذا الاندماج ينتج نيوترونات عالية السرعة.



النيوترونات عالية السرعة يمكن أن تخترق الصلب لذلك حتى أن الدبابات المدرعة لا يمكنها توفير الحماية. إشعاعات النيوترون هذه يمكن أن تحدث الشلل للإنسان في خمسة دقائق وتسبب الوفاة في فترة من يومين إلى ثلاث أيام. لذلك فإن هذه القنبلة لا تدمر المباني أو المواد. لذلك، فإنها تسمى القاتل النظيف.

القنبلة تسمى السلاح الإشعاعي القوي - (Enhanced Radiation Weapon) .

الفصل السابع عشر

التلوث الإشعاعي والوقاية منه :

Radio / Active And Chemical Pollution

التلوث الإشعاعي :

١- مقدمة :

بالتحلل التلقائي لنوية ذرة (Atomic Nuclie) عناصر معينة مثل الراديوم، اليورانيوم، الثوريوم.. الخ تبعث بروتونات (جسيمات ألفا α)، إليكترونات [جسيمات بيتا (B) وأشعة جاما (Y)] موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجه قصيرة جدا. مثل هذه العناصر التي تبعث إشعاعات عند تحللها يقال أنها عناصر مشعة وهذه الصفة تسمى النشاط الإشعاعي.

التلوث الإشعاعي هو التلوث الطبيعي للهواء فى الماء والتربة، بالمواد ذات النشاط الإشعاعي. مخلفات المواد ذات النشاط الإشعاعي التى تنطلق أساسا من الانفجار النووى الحرارى، تشكل تهديدا حادا للكائنات الحية. انتشار النشاط الإشعاعي فى جميع أنحاء العالم يلوث الهواء، التربة، الماء، النباتات، الحيوانات.

٢- أساسيات الإشعاع :

الإشعاع هو انبعاث طاقة من نقطة المصدر. الإشعاع الكهرومغناطيسي أو إشعاع الجسيمات قادر على إنتاج أيونات، مباشرة أو بطريقة غير مباشرة، بالتفاعل مع المادة. يشار له كإشعاع مؤين. الإشعاع المؤين يتم إنتاجه أثناء الاستخدامات الطبية، النووية، الصناعية تضيف أنواع الإشعاع مبني على طول الموجه. الطاقة المصاحبة لنوع معين من الإشعاع تتوقف على طول موجه الإشعاع. كلما قصر طول الموجه كلما زاد التردد وزادت الطاقة.

$$\text{طول الموجه} = \frac{\text{السرعة}}{\text{التردد}}$$

سرعة الاشعاع تتغير طبقا للمجال التى تسير خلاله.

٢- القياسات:

أ- إلكترون فولت: (Electron volt)

الإلكترون فولت هو وحدة طاقة تساوي $(1.6 \times 10^{-19} \text{ جول})$ الإلكترون فولت هو مقياس لطاقة تأين الإشعاع ويرمز له (ev)، آلاف من الإلكترون فولت (Kev) أو ملايين من الإلكترون فولت (Mev)، وهو الطاقة المكتسبة عند المرور خلال فرق الجهد لواحد فولت وهو يكافئ 1.6×10^{-19} إرج.

ب- رونتجن (R) : Roentgen

امتصاص حوالى ٨٦ إرج (86 Ergs) من الطاقة لكل جرام من الهواء يمثل واحد رونتجن. الرونتجن هو قياس للتأين فى الهواء نتيجة لتعرض لأشعة إكس أو لأشعة جاما.

ج- الراد: Rad

واحد راد أو جرعة إشعاع ممتصة، يمثل امتصاص ١٠٠ إرج لكل جرام من الوسط (Medium) من أى نوع من إشعاع التأين. أشعة إكس العادية للصدر تنتج تعرض لحوالى ٠,١ راد، السلسلة الثقيلة جدا للتشخيص هى حوالى ١٠ راد.

د- الرم: Rem

الرم، الرونتجن، مكافئ الأشخاص (Equivalent Men)، يقصد به أن يؤخذ فى الاعتبار التأثيرات البيولوجية لمختلف أنواع الإشعاعات من نفس الجرعة بالراد (In Rads). لأغراض الإشعاع الطبى، فإن عدد الرم يمكن اعتباره مكافئ لعدد الراد أو الرنتجن. معامل النوع أو معامل التدمير (Damagefactor-Qf) يستخدم التحويل الراد إلى رم.

م	نوع الإشعاع	معامل النوع Q F
١	لأشعة إكس - أشعة جاما - طاقة، البوزيترونات < ٠,٠٣ Mev	١
٢	اليكترونات - طاقة بوزيترونات > ٠,٠٣ Mev، طاقة النيوترونات > ١٠ Kev	٣
٣	البروتونات	١٠
٤	جسيمات الفا	١٠-١
٥		٢٠-١

$$\text{رم} = \text{راد} \times \text{QF} \quad (\text{Rems} = \text{Rads} \times \text{QF})$$

هـ - كورى وراذرفورد : (Curie And Rutherford) :

كورى وراذرفورد (rd) هما وحدتين للنشاط الإشعاعي. المعدل الذى به ذرات المصادر المشعة (Radionuclide - نويدة مشعة من نظير إشعاعى) تتحلل يقاس بالكورى. النشاط الإشعاعى للعينة يقال إنه واحد كورى إذا حدث له 3.7×10^{10} تحلل فى الثانية وواحد رذرفورد إذا حدث له 10^6 تحلل فى الثانية.

و - زمن نصف العمر : (Half Life Period) :

جسيمات ألفا لها قيم تأين نوعية ضخمة. فهى تنشر الطاقة سريعا. ولها شحنة كهربية موجبة. باعثات الفا هى العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم، الرصاص، البلوتونيوم والرادىوم. الجسيمات طبيعى أنها تشكل خطورة على الصحة فقط فى شكل إشعاع داخلى خلال الهضم، الاستنشاق أو الجروح المفتوحة. وهذه لا تسبب خطورة خارجية نظر لأنها لا تستطيع اختراق الطبقات الخارجية للجلد.

جسيمات بيتا خفيفة الوزن وتحمل شحنة واحدة. وهى تتأين باستخفاف وزهد (Slightly)، وتنشر الطاقة سريعا وهى متوسطة الاختراق ولكن يمكن إيقافها بقليل من الألومنيوم.

جسيمات بيتا يمكن أن تكون خطرة سواء كانت إشعاع داخلى أو خارجى بسبب تأين الأنسجة.

أشعة إكس وأشعة جاما هذه تسير بسرعة الضوء ولكن التردد يختلف. أشعة إكس وأشعة جاما لهما شدة اختراق عالية مقارنة بجسيمات ألفا وبيتا. وهما يشكلان الخطر الرئيسى على الصحة للإشعاع الخارجى رغم أن أشعة جاما يمكن أن تكون خطرة كذلك كإشعاع داخلى.

النيوترونات هى جسيمات ليس لها شحنة وذات طاقة عالية ويمكن أن يكون لها كلا من التأثيرات الفسيولوجية والقدرة على جعل المواد الأخرى ذات النشاط إشعاعى (Radion Active) النيوترونات يمكن أن تشكل المشاكل الرئيسية حول المفاعلات النووية النويدة المشعة من نظير إشعاعى (Radionulides) هى نظير إشعاعى لعنصر.

مصادر التلوث الإشعاعي :

المصدرين الرئيسيتين للتلوث الإشعاعي هما الطبيعي وبصنع الإنسان.

المصادر الطبيعية :

وهذه تشمل الأشعة الكونية (Cosmic Rays) والتي هي إشعاعات سريعة الحركة وذات إشعاعات نشطة (Energetic) التي تصل إلى الأرض من الفضاء الخارجي. كثافة أو شدة الإشعاعات الكونية في المحيط الحيوى (Biosphere) تكون منخفضة ولذلك فإنها لا تشكل خطورة على الصحة العامة ولكنها مصدر خطر رئيسى فى الفضاء. الإشعاعات الأرضية من النويات (نواه الذرة) للعناصر المشعة الموجودة فى الصخور، التربة والماء تمثل مصادر طبيعية للتلوث الإشعاعي. تلك العناصر تشمل اليورانيوم ٢٣٥، اليورانيوم ٢٣٨، الراديوم ٢٢٤، الثوريوم ٢٣٢ والكربون ١٤.

المصادر بفعل الإنسان :

من المصادر المشعة بفعل الإنسان هى اختبارات الأسلحة النووية، منشآت إنتاج الطاقة النووية، استخراج وتنقية البلوتونيوم والثوريوم وتحضير النظائر المشعة. أ - الأسلحة النووية :

تشمل تجارب الأسلحة النووية الآتى :

● استخدام انشطار اليورانيوم ٢٣٥، البلوتونيوم ٢٣٩.

● الهيدروجين أو الليثيوم كمادة اندماج.

الانفجارات النووية هى تفاعلات تسلسل حرة غير مسيطر عليها، فهى تنتج حالات من التدفقات الضخمة من النيوترونات التى تسبب الخاصية الإشعاعية لمواد أخرى فى البيئة المحيطة.

يتم دفع سحب ضخمة من الجسيمات المشعة والغازات إلى أعلا فى البيئة وتحمل إلى مساحات بعيدة بواسطة طاقة الرياح. وبالتدريج ترسب هذه على الأرض بثقلها أو أن يفعل الأمطار. ومن بين المواد الساقطة الاسترنتشيوم ٩٠، الأيودين ١٣١، السيزيوم ١٣٧، المنتجات المتفجرة الغير مستخدمة ومنتجات المواد المشعة الساقطة. عند سقوط الأمطار المحتوية على هذه المواد المشعة على سطح الأرض، فإن الخاصية الإشعاعية تنتقل إلى حبيبات التربة مسببة تلوث التربة. يتم غسيل تلك المواد المشعة من التربة إلى

مختلف مصادر المياه حيث تمتصها الكائنات المائية ويحدث تراكم لها خلال السلسلة الغذائية حيث يمكن أن تصل إلى الإنسان.

٢- المفاعلات النووية والوقود النووي:

في محطة الطاقة النووية تشمل خطة العمل إدخال الوقود النووي المجهز، الانشطار، وعمليات التنشيط والعمليات الحرارية. الوقود المستخدم لتحلل الذرات هو عادة النظير المشع يورانيوم - ٢٣٥ في هذه العملية تنطلق كمية ضخمة من الطاقة في شكل حرارة التي تستخدم لإنتاج البخار لتشغيل التربينات الضخمة لإنتاج الكهرباء. كلا من عناصر الوقود والمبردات هي مصادر للتلوث الإشعاعي. بجانب ذلك، فإن التخلص من المخلفات المشعة من المفاعلات النووية هو مشكلة كبيرة ذلك لأن منتجات الانشطار والتنشيط فيها تعتبر خطيرة للكائنات الحية. حتى في حالة دفن هذه المخلفات في خزانات تحت الأرض للتحلل الطبيعي، فإنها يمكن أن تصبح حرة وتهرب إلى المجال المحيط.

٣- النظائر المشعة: (Radio Active Isotopes)

عدد كبير من النظائر المشعة مثل اليود - ١٢٥، الكربون ١٤، الفسفور ٣٢ و مركباتهم استخدمت في عمليات بحثية كثيرة. مياه الصرف من هذه المنشآت البحثية تصل إلى مختلف مصادر المياه مثل الأنهار، المجارى المائية، البحيرات.. الخ. خلال مواسير الصرف حيث تسبب تلوثا للمياه كذلك فإن اليود المشع والفسفور المشع يصل إلى السلسلة الغذائية خلال الماء وأخيرا يمكن أن يصل إلى الإنسان خلال الأسماك.

٤- مصادر أخرى:

يدخل جسم الإنسان تركيزات مختلفة من الإشعاعات أثناء مختلف المعالجات الطبية، فمثلا أشعة إكس هي العادية للكشف عن الاضطراب في الجهاز الهضمي، علاج مرضى السرطان عادة يحتوى على الراديوم وإشعاعات نظير آخر. يقدر أنه يؤخذ سنويا ٢٤٠ مليون أشعة إكس وأسنان وأن ١٥ مليون اختبار باستخدام المواد المشعة للتتبع (Traces) يتم عملها في جسم الإنسان كذلك.

الأنواع العادية الإشعاع المتأين هي أشعة إكس والتي يتم تحضيرها بواسطة معدة التصوير الإشعاعي (Radiographic)، معدات العلاج بأشعة إكس، أشعة إكس للأسنان التي يمكن أن تخرق عند فرق جهد حوالى ١٠ كيلو فولت تنتج إشعاع أكثر اختراقا

ويمكن أن يكون أكثر خطورة، فى حالة عدم احتوائه جيدا. وهذه تشمل نظام العرض التليفزيونى عالى الفولت، أجهزة التليفزيون الملونة، الميكروسكوبات الإلكترونية، أنبوب تقل الإشعاع، أنبوب تعديل الفولت العالى.. إلخ.

من بين المواد المشعة المستخدم عادة والموجود طبيعيا هو اليورانيوم، البلوتونيوم، أستيلينيوم (Actinium)، والثوريوم.

تأثيرات الملوّث المشع:

إنه منذ إختراع القنبلة النووية فإن الجنس البشرى يواجه التهديد بالحرب النووية. لذلك. من المهم معرفة درجة الضرر الذى يمكن أن تسببه الإشعاعات المخترقة ذات الطاقة العالية للكائنات الحية. عند مرور جسم نووى بطاقة عالية أو أشعة جاما خلال أى مادة، فإنه يؤين الذرات التى يقابلها فى طريقة وذلك بخطط الإلكترونات فيها يتوقف تأثير الملوّثات المشعة على:

أ - قوة الإشعاع والتى بدورها تتحدد بدرجة التأين الناتجة عند المرور خلال المادة.

ب - الفترة الزمنية الذى حدث خلالها التعرض بالإشعاع.

ج - معدل انتشار الملوّث الإشعاعي.

د - فترة نصف العمر للملوّث الإشعاعي.

هـ - الظروف المناخية.

التلف الذى يحدث لجسم الإنسان بواسطة الاختراق لهذه الأشعة يعتمد على:

أ - الجرعة.

ب - معدل الجرعة.

ج - الجزء المعرض من الجسم.

فى حالة الجرعات الإشعاعية العالية فإنها يمكن أن تسبب الموت الفورى بينما فى حالة الجرعات المنخفضة فإنها تفسد أو تتلف الوظائف العضوية للجسم.

بدون حدوث أضرار مستمرة فإن اليد والقدم يمكن أن يتحمل جرعة أكبر من الإشعاع مقارنة بأجزاء أخرى من الجسم عند مرور للإشعاعات النووية وأشعة إكس خلال الخلايا الوراثية (Genetic Cells) فإنها تؤثر على الكروموزومات (الكروموزم هو جسم خيطى كروماتينى يظهر فى نواه الخلية عند الانقسام). عند تأثر الخلايا الوراثية عندئذ تكون النتائج خطيرة لأن الجينات أو الموروثات (Gens) قد تأثرت أى أنه حدث تغير إحيائى

وراثى مفاجئ (Mutation). هذا التغير الإحيائى الوراثةى عادة ينقل من جيل إلى جيل لذلك فإن التلف يكون موروثا بذرية الجيل الذى تأثر من بين التأثيرات طويلة المدى للتلوث الإشعاعى هى الأمراض الأورام أو المتعلقة بالورم أو شبيه به (Tumours) السرطان التغيرات فى النمو.

بعض الخلايا تكون أكثر عرضه للضرر بواسطة الإشعاعات فمثلا:

أ - النمو النشط للخلايا.

ب - التقسيم النشط للخلايا (ذلك هو سبب تدمير الخلايا السرطانية بالإشعاع ذلك لأنها كذلك تنسب إلى نوع النمو النشط).

ج - خلايا نخاع العظام (Bone Marrow Cells) التى تنتج خلايا الدم الحية (Corpuscles).

د - خلايا الجلد.

هـ - خلايا القناسل والإنجاب.

و - الجنين أو حالة الحمل.

خلايا أخرى الأقل تعرض للتلف بالإشعاع هى:

أ - العضلات.

ب - العظام.

ج - الأنسجة العصبية.

القصف الذرى لليابان (عام ١٩٤٥) نتج عنه وفيات كثيرة بسبب النمو الضار،

ابيضاض الدم (Leu Kemia)، السرطان. كثيرا من الأطفال يحدث لهم تخلف عقلى، تشوه خلقى.

الملوثات التى تسقط فى الحقول تجد طريقها نحو نباتات غذاء الحيوان التى تنمو فى

هذه الحقول. الأطفال الذين يشربون اللبن مثل هذه القطعان يحدث لها تشوه لأن

الملوثات ذات النشاط الإشعاعى مثل الاسترنتشيوم ٤٠ تترسب فى العظام بنفس الطريقة

مثل الكالسيوم تسبب مرض سرطان العظام.

اليود ١٣١ يتلف خلايا الدم البيضاء، نخاع العظام، ورم النسيج اللمفاوى، الطحال،

ويسبب الأورام، سرطان الجلد، عيوب فى النظر.

الملوثات المشعة تؤثر كذلك على النباتات والحيوانات. بعض الحيوانات تراكم نويات معينة (Nuclides) فمثلاً، المحار من الرخويات البحرية يرسب ^{65}Zn ، الأسماك ترسب ^{55}Fe والحيوانات البحرية تلتقط ^{65}Zn .

الجدول الآتي يوضح التعرض الإشعاعي للفرد في الولايات المتحدة:

المصادر	الجرعة (مللي ريم في العام)
الخلفية الطبيعية.	١٣٠
العلاج الطبي بأشعة إكس	٩٠
اختيارات الأسلحة النووية	٥,١
محطات الطاقة النووية.	٠,٠١

الجدول الآتي يوضح تأثير الإشعاع على كل الجسم:

جرعة رونجتن	التأثير المحتمل
صفر - ٦٠	لا تأثير واضح عدا احتمال تغيرات قليلة في الدم.
١٥٠ - ٢٥٠	القيء ودوار البحر لمدة حوالى يوم واحد، يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي لحوالى ٥٠٪ من الأشخاص لا يتوقع حدوث وفيات.
٢٠٠ - ٤٠٠	القيء ودوار البحر لمدة يوم واحد يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي لحوالى ٥٠٪ من الأشخاص. يتوقع حدوث وفيات بنسبة ١٠٪.
٣٥٠ - ٥٥٠	القيء ودوار البحر لكل الأشخاص تقريباً في اليوم الأول، يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي. الوفيات المتوقعة حوالى ٢٥٪.
٥٥٠ - ٧٥٠	القيء ودوار البحر لكل الأشخاص في اليوم الأول، يليه أشكال أخرى من المرض الإشعاعي. حوالى ٥٠٪ وفيات خلال شهر واحد.
١٠٠٠	القيء ودوار البحر لكل الأشخاص خلال ١ - ٢ ساعة. احتمال لا يوجد أحياء.
٥٠٠٠	الوهن الفوري وكل المعرضين سيهلكوا خلال ساعة واحدة.

الجدول الآتي يوضح أقصى جرعة إشعاعية مكافئة مسموح بها:

أقصى جرعة / متراكمة بالرم	أقصى جرعة كل عام بالرم	أقصى جرعة ١٣ - أسبوع بالرم	
١٨ - ٥	٥	٣	مساحات التحكم للجسم
-	١٥	-	الغدد - عدسات العين - نخاع العظام
	٧٥	٢٥	الأحمر
	٣٠	١٠	الجلد بخلاف اليدين والأجزاء الأمامية
	١٥	٥	الأيدي
	١٠,٠٥		الأجزاء الأمامية، أعضاء أخرى، أنسجة
	٠,١٧ متوسط		وأجهزة عضوية أخرى.
			مساحات غير محكمة تعرض أحيانا
			حدود الجرعة للسكان

ليكون الخطر عند أدناه وفي الحدود المقبولة، فإن أقصى جرعة مسموح بها إقترحت بواسطة المؤتمر الدولي للحماية الإشعاعية وجهات أخرى،

الجدول الآتي يوضح أقصى جرعة مسموح بها:

أعضاء المجتمع (ريم في العام)	إشعاعات الكبار (ريم في العام)،	الأعضاء ذات الأنسجة
٠,٥	٥	الغدد، نخاع العظام،
٣,٠	٣٠	الجلد، العظام،
٣,٠	٣٠	الغدة الدرقية Thyroid،
٧,٥	٧٥	الأطراف،
١,٥	١٥	أعضاء متفردة أخرى

التحكم في التلوث الإشعاعي:

التحكم في التلوث الإشعاعي يتم بالتفعيل الحازم لإجراءات الأمان الآتية:

(١) - الحماية من التعرض الإشعاعي:

المبادئ الثلاث للحماية من الإشعاعات هي المسافة، زمن التعرض، نظام الوقاية لعزل الإشعاع. يقل التعرض مع مربع المسافة من المصدر. زمن التعرض يجب أن يكون أقل ما

يمكن لتنفيذ عمل معين. في حالة المتطلبات السكانية فإن التعرض الكلى يجب ان يكون أقل من أقصى جرعة.

العزل (Shielding) هو إيجاد مادة تهدئة كثيفة (مادة عزل) ما بين مصدر الإشعاع والمجال المحيط وذلك لخفض أو لإيقاف مسار الإشعاع. أثناء الفحوص الطبية يجب تفعيل الإجراءات الآتية:

أ - التوصيف الطبي لشرائح أشعة إكس يجب أن يكون للحصول على معلومات عن التشخيص الطبي وأن يكون بناءا على تقديرات للتحليل الطبي.

ب - تجنب أشعة إكس الروتينية مثل:

- الكشف بأشعة إكس على الصدر وأسفل الظهر في شكل كشف دورى روتينى.
- صور الأشعة على الصدر فى الحالات الروتينية قبل الولادة.
- فحص درنات السل (وعزلها) بالأشعة الصدرية.

ج - معدة أشعة إكس من أعلا نوع التى تعمل وتصلان بواسطة عناصر مؤهلة ومدربة.

د - الحماية المناسبة ليكون التعرض محدودا للجزء المطلوب من الجسم.

الحماية من التلوث الإشعاعي:

الجسيمات المشعة تشكل خطورة عند استنشاقها. فهى تشع فى الجسم باستمرار حتى تنتهى. يمكن خفض هذا باستخدام أغطية الرأس المعملية، مرشحات الهواء، ونظم سحب العادم، تجنب الكنس الجاف، ارتداء ملابس الوقاية ومؤشرات الإشعاع (لمعرفة الكمية الكلية من الإشعاع التى تعرض لها الشخص)، استخدام الأقنعة المانعة لاستنشاق الغازات الملوثة، عند ظهور الحاجة إليها ومنع التدخين وتناول الطعام حيث تستخدم المواد المشعة. دلائل الحماية من الإشعاع للماء والغذاء والهواء هى كالآتى:

أ - الماء : أقصى حد للإشعاع فى مياه الشرب:

أقصى مستوى بيكو كورى / لتر	الملوث
٥	كلا من الراديو ٢٢٦ ، الراديو ٢٢٨ معا
١٥	النشاط الكلى لجسيم ألفا
٢٠,٠٠٠	التريتيوم
٨	الاسترنيوم - ٩٠
٥٠	النشاط الكلى لجسيم بيتا.

ب - الغذاء:

المصادر الرئيسية للإشعاع فى الغذاء هى التى من صنع الإنسان وسقطت على الأرض الزراعية ، مادة مثل الاسترنشيوم ، السيزيوم ، اليود 131 ، قد تصل إلى النبات خلال الجذور وتجند طريقها نحو الغذاء. ألبان القطعان المنتجة للألبان تكون ملوثة فى حالة أكل الأعشاب والحشائش الملوثة. هذا اللبن يمكن استخدامه فى صناعة الزبد وفى صناعة اللبن المجفف وفى صناعة الجبن.

ج - الهواء:

تلوث الهواء بالمواد المشعة يمكن ان يكون من الانفجارات النووية ، ومن المفاعلات النووية ، ومن تصنيع الوقود النووى ، ومن التسرب الغير معتمد وكذلك المصدر الطبيعى. أقصى مستوى مسموح به هو ١٠٠ - ١٥٠ mR فى العام. الانفجارات النووية واستخدام الأسلحة النووية يجب الحد منها كلية. تسرب العناصر المشعة من المفاعلات النووية ومن محطات إنتاج الطاقة بالوقود النووى يجب مراجعتها من آن إلى آخر.

(٣) - المساحة المحكمة:

المساحات المسببة أو التى تسمح بالتعرض الإشعاعي يجب أن يكون الوصول إليها محكم وأن يتم تعليمها " كمنطقة محظورة" أو "كمنطقة إشعاع". الخ. يتم المراجعة بانتظام لمستوى التلوث الإشعاعي فى المساحات ذات الخطورة الكبيرة. العوازل أو الحوائط المقاومة للإشعاع يجب إنشائها لحماية العاملين من المواد المشعة.

(٤) - الجمع والتخزين والتخلص:

المواد المشعة يجب أن يتم تحويلها إلى الشكل الغير ضار أو أن يتم تخزينها فى طبقات عميقة من اليابسة (Lithosphere) حيث يمكن أن يحدث التحلل التدريجى الغير ضار.

المخلفات السائلة والصلبة يمكن أن يكون مصدرها معامل كشف الأنشطة الإشعاعية (Radioscopic) ، مصانع الصناعات الكيمائية ، المفاعلات النووية.. الخ. مخلفات الصلبة ذات النشاط المنخفض يتم جمعها فى أوعية مبطنة بالورق أو بالبلاستيك ويتم التخلص منها بطريقة مقننه (الحرق أو الردم الأرضى). المخلفات الصلبة ذات النشاط الإشعاعي العالى يتم وضعها فى أوعية محجبة (Shielded). المخلفات ذات المستوى

المنخفض السائلة أو الغازية عادة يتم تخفيفها أو تشتتها إلى أقصى حد مسموح به قبل التخلص . المخلفات ذات المستوى العالى الصلبة والسائلة يتم تركيزها وحفظها. المخلفات ذات المستوى العالى غالبا مخلفات سائلة من محطات الطاقة النووية وتظل مشكلة يصعب حلها نظر لطول عمر النشاط الإشعاعي الموجود.

المخلفات المشعة ذات المستوى العالى يمكن تثبيتها فى مادة صلبة خاملة للتخلص فى مساحة أو إمكان استخدام وعاء زجاجى خاص لتخزينها هذه الأوعية الزجاجية تظل عند ١٠٠ - ١٥٠ م ويعتقد أنها تظل لملايين السنين. المحاولات هى لتحويل هذه المخلفات إلى مادة زجاجية. يمكن أن يسمح بالتخلص الأرضى للمخلفات ذات المستوى المنخفض والمتوسط مع الظروف المناسبة للتربة، والصخور والمياه الجوفية. طرق التخلص الأخرى التى تؤخذ فى الاعتبار هى الكهوف الواسعة أو المغارات، المنجم العميق، التشققات المالحة، التخلص فى الآبار العميقة وفى المحيطات، ولكن كل من هذه يتطلب تقدير حذر قبل السماح به. لأفضل نتيجة مؤثرة، فإنه يلزم عمل برنامج رصد بيئى والذى يسبقه استطلاع تحضيرى فى وحول المنشأة النووية والذى يفيد فى مراجعة العمليات المختلفة التى يمكن أن تنتج التلوث.

التلوث الإشعاعي هو تهديد خطير للحياة ذلك لأن الأشخاص المعرضين لمخاطر الإشعاع لا يستشعروا النتائج المميتة والغير مرئية. التأثيرات الضارة للإشعاعات يتم الشعور بها لسنوات. بالنظر إلى التدمير الكبير لحياة الإنسان والحيوان والنبات، النتائج المأساوية المترتبة على التلوث الإشعاعي، فالحقيقة أنه لا توجد جرعة آمنة ولا علاج للتلف بسبب الإشعاعات. ويجب على البشرية التوقف عن السباق فى السلاح النووي.

الملاحق

- ملحق (ا)
- ملحق (ب)
- ملحق (جـ)
- ملحق (د)
- ملحق (هـ)
- ملحق (و)
- ملحق (ز)

ملحق (أ)

معاني المصطلحات: (Glossary)

١- Accelerator :

تعنى المعجل وهى جهاز مصمم لانتاج جسيمات ذات طاقة عالية.

٢- Alphan Decay : تحلل ألفا هو إنبعاث جسيمات ألفا بواسطة نوية مشعة.

٣- Alpha Particle :

جسيم الفا وهو جسيم ذو شحنة موجبة تكون من إثنين من البروتونات وإثنين من النيوترونات. هذه الجسيمات تنبعث بواسطة مواد معينة مشعة ويمكن إيقافها بواسطة قطعة من الورق.

٤- Annihilation Radiation :

إشعاع ينبعث نتيجة فناء ودثور B^+ بواسطة تفاعلها مع إلكترون سالب.

٥- Antimatter :

الجسيمات التى تفنى كلا من نفسها وملحقاتها فى المادة العادية عند الالتصاق معا.

٦- Antineutrino :

جسيمات بدون شحنة وبدون كتلة تنبعث مع الإليكترون فى عملية الاشعاع.

٧- Artificial Isotope :

نظير غير موجود فى الطبيعة وينتج صناعيا بفعل الإنسان.

٨- Artifical Radioactivity :

تحلل النظائر المشعة التى صنعها الإنسان.

٩- Atom :

أصغر جزء للعنصر الذى له كل صفات هذا العنصر.

١٠- Atomic Energy :

الطاقة المنتجة من نواه الذرة، خاصة بالانشطار، فى هذه العملية تتحول الكتلة إلى طاقة.

الطاقة الذرية تنتج من إستعادة التنظيم خلال داخل الذرة.

١١- Atomic Number :

الرقم الذرى هو رقم البروتونات (أو عدد الشحنات الموجبة) فى نواه الذرة.

١٢- Atomic Smashing :

إحداث التفاعلات النووية، خاصة الانشطار .

١٣ - Autordiography :

تقنية مكان الذرات المشعة التي تدخل في العينة البيولوجية أو عينة أخرى بوضع العينة ملتصقة مع مستحلب فوتوغرافي. الاشعاع، المار خلال الفيلم، يستحث حبيبات الفضة، والتي عند التحميض، تظهر مكان الذرات المشعة في العينة.

١٤ - Average Binding Ebergy :

طاقة الرباط للنواه لكل نيوكلون (Nucleon). (النيوكلون هو الاسم العادي للجسيمات النووية البروتونات والنيوترونات)

١٥ - To - Average Life - Time- :

$$\frac{1}{\lambda}$$

هو مقلوب ثابت التحلل Ta =

١٦ - Background Radiation : الإشعاعية الطبيعية في البيئة.

معظم الإشعاعية الطبيعية تنتج من الأشعة الكونية التي تأتي من الفضاء الخارجي والإشعاع من الرواسب المعدنية الطبيعية المشعة.

١٧ - Barn :

وحدة المقطع ($b = 10^{-24} \text{ cm}$)، مقياس للمساحة. مقدار المقطع يتوقف ليس فقط على خواص المادة التي تمر خلالها الأشعة، ولكن كذلك على خواص الأشعة نفسها.

١٨ - Beta decay :

تحلل بيتا هو ابتعاث إلكترون، ابتعاث بوزيترون أو اقتناص إلكترون بواسطة ذرة نظائرية متميزة بتركيب نواتها وانحلالها الإشعاعي (Radioactive Nuclide).

١٩ - Beta Particle :

إلكترون أو بوزيترون سريع التحرك (Fast Moving) الذي ينبعث من الذرات الغير مستقرة والتي تصبح مستقرة. هذه الجسيمات يمكن إيقافها بواسطة رقائق الألومونيوم.

٢٠ - Binding Energy Pernucleon :

طاقة الرباط النووي للنواة مقسوماً على عدد النويات (Nucleons) (والذي هو أحادي العدد الكتلي كالبروتون والنيوترون).

٢١ - Bohr Magneton :

وحدة عزم الإليكترون $(eh / 4 \pi mc_e)$

٢٢ - (BWR): Boiling Water Reactor :

المفاعل النووي الذي فيه الحرارة من قضبان الوقود تسبب الغليان لمياه التبريد.

البخار من الماء المغلي يستخدم لتشغيل تربين لتوليد الطاقة.

٢٣ - Bombardment :

قذف، وهي العملية التي بها تقذف النواة بواسطة جسم متحرك (قذيفة) عادة بطاقة (10 Mev)، هذا يؤدي إلى نواة جديدة. يمكن كذلك تكوين بعض الأجسام وإشعاع جاما بالإضافة إلى النواة المنتجة.

٢٤ - Branched Disintegration :

يعنى حدوث التحلل بطريقتين للعنصر من السلسلة الإشعاعية.

٢٥ - Bubble Chamber :

غرفة الفقاعة عبارة عن جهاز الذى يسجل المسارات الناتجة بالجسيمات ذات الشحنة التى تمر خلالها. عادة الغرفة تكون مملوءة بغاز مسال ذو درجة حرارة منخفضة، مثل الهيدروجين، الذى يكون فقاعات عند مرور الغاز خلاله.

٢٦ - Capture - Rays :

أشعة جاما المنبعثة فى المفاعل النووى لاقتناص الإشعاع.

٢٧ - Cathode Rays :

تدفقات من الإليكترونات من الكاثود نحو الأنود فى أنبوب تفريغ الغاز.

٢٨ - Chain Fission :

تفاعل الانشطار الذى يساعد على تكرار نفسه. بعض من النيوترونات التى تنتجها النواه التى تم إنقسامها تصطدم بنوية (Nuclei) أخرى، والتى تفرز نيوترونات وهذه تصطدم مع أكثر من نوبة. عندئذ التفاعل يستمر ليكرر نفسه.

٢٩ - Cloudchambre :

غرفة السحاب هى تجهيزه لكشف الجسيمات التى تؤثر فى تكثيف البخار بالإشعاع الساقط.

٣٠ - Compound Nucleus :

الحالة المثارة (حالة متوسطة) تكونت أثناء الانتقال الذى يتكون باقتناص القذيفة بنواة الهدف.

٣١ - Control Rods :

قضبان التحكم هى تجهيزات يتم رفعها أو خفضها فى قلب المفاعل لامتصاص النيوترونات وتنظيم سرعة التفاعل المتسلسل.

٣٢ - Coolant :

المبرد هو مادة تستخدم في تبريد المفاعل. عادة يستخدم الماء لهذا الغرض.

٣٣ - Cosmic Rays :

الأشعة الكونية هي أشعة لجسيمات عالية الطاقة التي تصطدم على الأرض من مصادر في الفضاء الخارجي.

٣٤ - Critical Size For Fission :

حجم معين للنظام المحتوى على مادة إنشطارية حيث عدد النيوترونات المنتجة في عملية الإنشطار توازن تماما تلك التي تفقد بالتسرب وبالاقتناص بحيث يحدث إنشطار مستقر.

٣٥ - Coulomb :

الكولومب هو وحدة الشحنة الكهربائية وهو واحد أمبير من التيار الذى يسرى خلال ثانية واحدة.

٣٦ - Coulmb Force :

قوة الكولومب : هي قوة الإنجذاب أو التنافر الكهربى بين جسيمات حاملة للشحنة.

٣٧ - Curie Cci :

الكورى هو وحدة النشاط الاشعاعى وهو يعادل 3.7×10^{10} من التحللات (Disintegrations) أو التحطم فى الثانية.

٣٨ - Cyclotron :

السيكلوترون هو تجهيزه لإسراع الأيونات الموجبة إلى الملايين من الفولتات الاليكترونية. أول تصميم لهذا كان عام ١٩٢٩.

٣٩ - Cyclotron Reactions :

تفاعلات نوية (Nuclie) الهدف مع مقذوفات ذات طاقة عالية، التى تم إسراعها بواسطة السيكلوترون.

٤٠ - Daughter Element :

العنصر الذى تكون كمنتج رئيسى من تحليل الذرة المشعة.

٤١ - Deuterium :

نظير الهيدروجين الذى له نواه تحتوى على واحد نيوترون وواحد بروتون وهو حوالى ضعف ثقل نواة الهيدروجين الطبيعى، والتى لها واحد بروتون فقط. الاسم الآخر للديتيريوم هو الهيدروجين الثقيل.

٤٢ - Deutron :

الديوترون هو نواة الهيدروجين الثقيل التي تتكون من بروتون مرتبط بـنيوترون.

٤٣ - Disintegration Energy Of Nuclear Reaction Energy (Q) :

يعنى التغير فى الطاقة الناتج عن التفاعل النووى ، وهو يساوى الفرق فى الكتل للجسيمات الأولية والنهائية فى حالة الوضع الطاقى الأدنى للذرة (الهمود).

٤٤ - Electromagnetic Wave :

الموجه التى تأتى من فعل القوى الكهربائية والمغناطيسية التى تتحرك عند سرعة الضوء.

٤٥ - Electron :

جسيم من مكونات الذرة حامل لشحنة سالبة.

٤٦ - Electron Capture :

عملية إشعاعية التى فيها اليكترون مدارى (عادة إلكترون K) يتم إقتناصه بواسطة النواه بما يؤدى إلى تحويل البروتون إلى نيوترون ، بذا تزداد نسبة $P : n$ للنواه.

٤٧ - Electrostatic unit Charge (esu) :

الشحنة التى عند وضعها فى الفراغ يبعدها عن شحنة مماثلة ومساوية بواحد سم ، سوف ينفرها ويصدها بقوة واحد دايين (dyne).

٤٨ - Erw - Enhanced Radiation Weapon :

مثل قنبلة النيوترون.

٤٩ - Exchange Forces :

القوى الناتجة من إنتقال الشحنة الكهربائية فى شكل إلكترون أو بوزيترون ، من نيو كليون (Nucleon) إلى آخر ، لقد إفترض (Hiesenberg) أن مثل هذه القوى هى التى تسبب كلا من تفاعلات الجذب أو التنافر للنويات (Nucleons).

٥٠ - Fertile Nuclide :

النظير الذى لا يمكن أن ينشط بسهولة ولكن الذى يمكن تحويله إلى نواه سهلة الانشطار ، خاصة بالنيوترونات الحرارية (مثل : U-238).

٥١ - Nuclides :

Fissile : النظير الذى يمكن أن ينشط بسهولة بالنيوترونات ذات أى طاقة (مثال : U-235).

٥٢- Fissionable Nuclides :

هذه هي النويات مثل: U^{238} ، Th^{232} ، التي لها عتبة إنشطار (I Mev) : هذه لا يمكن إنشطارها إذا كانت طاقة النيوترون أقل من I Mev.

٥٣- Fission Critical Energy ((Activation Energy :

أدنى طاقة يلزم توفيرها للنواه الأصلية لتغييرها إلى الحالة حيث طاقة التنافر الكهروستاتيكية تتغلب على الطاقة السطحية المقاومة للتغير هذه الطاقة تتناسب مع $(Z^2 / A^{1/3})$.

٥٤- Fission Products :

نواتج الانشطار. الذرات المتكونة عند إنقسام اليورانيوم في المفاعل النووي. هذه النواتج عادة تكون مشعة.

٥٥- Fission Yield :

إنتاجية الانشطار. إنتاجية الانشطار للنوية هو جزء أو نسبة من العدد الكلي للإنشطارات والذي يؤدي إلى النوية مباشرة أو بطريقة غير مباشرة.

٥٦- Gamma Rays :

إشعاعات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية، تشبه في صفتها لأشعة إكس ، الأشعة فوق البنفسجية ، الضوء المرئي ، والأشعة تحت الحمراء والموجات اللاسلكية.

٥٧- Gamma Transition :

عملية النواه في حالة الإثارة معطية طاقة إثارتها والعودة إلى حالة الهمود.

٥٨- Gaseous Diffusing Plant :

المحطة حيث يتم تخصيب اليورانيوم في U^{235} بالتسرب الغازي لفلوريدات نظائر اليورانيوم.

٥٩- Geiger Muller Counter :

التجهيز المستخدم للكشف عن الإشعاع وقياسه.

٦٠- Gegiger - Muttal rule :

المسطرة التي تربط علاقة ثابت التحلل مع مجال ألفا.

$$R : \text{Log} = a + b \text{ Log } R$$

٦١- Glovwe Box :

التجهيزة حيث بداخلها العمليات الخاصة المواد المشعة تتم بأمان خلال زوج من القفازات مرتبطين بها ، Dry Box هو الاسم البديل لهذا الصندوق.

٦٢ - Half Life :

الزمن اللازم لتحلل نصف الذرات في عينة مشعة.

٦٣ - Health Physics :

ما هو متعلق بحماية الأشخاص الذين يواجهوا مخاطر الإشعاعات.

٦٤ - High - Energy Fission :

حيث تستخدم مقذوفات ذات طاقة عالية (100 - 140 Mev) لإحداث الانشطار.

٦٥ - High Energy Nuclear Reactions :

التفاعلات التي تتم بمقذوفات ذات طاقة عالية (أكبر من 50 Mev) والذي يحدث بتصادمات الجسيمات الساقطة مع النيوكليون (البروتونات والنيوترونات) خلال نواة الهدف، لا يحدث مشاركة لطاقة الجسيم الساقط بكل النويات. عندئذ فإن النوية التي يتم قذفها بالجسيمات الساقطة تقذف في الاتجاه الأمامي..

٦٦ - Ionizing Radiation :

الأشعة ذات الطاقة الكافية لإزالة الإلكترونات من ذرات العناصر التي تمر خلالها، وبذا مكونه أيونات.

٦٧ - Isobars :

هي النويات ذات نفس الرقم الكتلي (Mass Number) (A)

٦٨ - Isomeric Transition :

نوع من النشاط الإشعاعي الذي به تحلل النواه من واحد من حالات الطاقة النووية إلى أخرى.

٦٩ - Isotones :

النويات (Nuclides) ذات نفس الرقم الكتلي (A).

٧٠ - Isotopes :

النويات ذات نفس الرقم الذري (Z) ولكن بأرقام مختلفة للنيوترونات وبالتالي اختلاف (A) الرقم الكتلي.

٧١ - K - Capture :

إقتناص إلكترون K بنواه يؤدي النواه حيث Z أقل عن تلك الأصلية بوحدة واحدة.

٧٢ - Laser Fusion :

شعاع ليزر قوى يقذف قذيفة من الوقود بمقدار الطاقة حيث بعض المادة السطحية يحدث له تبخر. موجة الصدمة الناتجة تضغط الوقود عند مركز القذيفة، مسببة تلاحق النويات وكذلك رفع درجة الحرارة إلى الحد حيث يمكن حدوث الاندماج .

٧٣- Light Water Reactor :

أكثر أنواع المفاعلات النووية الذى يستخدم فيه الماء العادى كمهدئ ومبرد .

٧٤- Linear Energy Transfer (LET) :

المعدل الطولى لفقد الطاقة (امتصاص كلى) واسطة جسيم مؤين (Ionizing) الذى يعبر مجال المادة، يعبر عنه بالكيلو إليكترون فولت للميكرون (Kev / m).

٧٥- Liquid Metal Fast Breeder Reactor (LMFBR) :

مفاعل التوليد الذى يتم تبريده بتدوير سائل المعدن مثل الصوديوم.

٧٦- Magic Numbers :

عدد معين من النيوترونات والبروتونات الذى يحقق الاستقرار النووى.

٧٧- Magnetic Moment :

خاصية الجسيمات الدوارة التى تعطىها مجال مغناطيسى صغير يشبه لذلك لقضيب المغناطيس.

٧٨- Mass Defect :

الفرق بين كتلة الذرة ومجموع الكتل الحرة لمكوناتها.

٧٩- Mass Number : رقم الكتلة (العدد الكتلى).

مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات فى النواه، الرقم الكلى الأقرب للوزن الذرى للعنصر.

٨٠- Mass Spectrometer :

الجهاز الذى ينشر شعاع من الأيونات الموجبة إلى الطيف المبني على نسبة الشحنة إلى الكتلة للأيونات.

٨١- Mean Life :

متوسط العمر للنواه المشعة هو مقلوب ثابت التحلل ($\lambda \div 1$).

٨٢- Melt Down :

حادث للمفاعل حيث ينصهر الوقود بسبب ارتفاع درجة الحرارة والتلوث للبيئة بالأشعة الضارة، هذا يمكن أن يحدث بسبب فشل نظام تبريد المفاعل.

٨٣- Meson :

درجة الجسيمات ذات التفاعل القوى وذات دوران التكاملى الشامل ذات كتلة أقل من تلك للبروتون والنيوترون.

- ٨٤ - Metastable Nuclide : نويدة أو ذرة نظائرية .
النوييدة فى الحالة التى لا تكون فيها مستقرة غالباً فى الظروف المعينة ، ولكن تكون مستقرة تماماً ليكون لها وجود مستقل تقريباً.
- ٨٥ - Millirem :
وحدة جرعة الاشعاع تساوى ١ ÷ ١٠٠٠ من الرم.
- ٨٦ - Moderator :
المادة المستخدمة لتبطئ النيوترونات السريعة فى المفاعلات ، النيوترونات السريعة تصطدم مع النوية (Nuclie) الموجودة فى المهدى وبذا تبطأ سرعتها.
- ٨٧ - Massbauer Effect :
تشتت الرنين النووى (Nuclear Resonance Scattering) :
ظاهرة مساور: إنبعث شعاع غامى من نواه فى نظام بلورى دون فقد طاقى.
إذا كان تردد الإهترزاز للنواه يساوى لذلك الكم الضوئى (Photon) الساقط، فإنه يمكن حدوث إمتصاص للكم الضوئى ، الكم الضوئى عندئ ينبعث من النواه التى أثيرت.
- ٨٨ - Muonic (Mesonic Or Mesic) Atom :
مجموع النواه وجسيم سالب (m, π ork) الذى له وجود إنتقالى.
- ٨٩ - Natural Isotopes :
النظائر المستقرة أو المشعة الموجودة فى الطبيعة.
- ٩٠ - Natural Radiation :
الاشعاع الموجود دائماً فى الطبيعة من المصادر مثل الأشعة الكونية، المواد المعدنية المشعة، مواد البناء، جسم الإنسان.
- ٩١ - Natural Radioactivity :
تحلل النظائر المشعة الموجودة فى الطبيعة:
- ٩٢ - Neutrino :
جسيم ليس له كتلة وليس له شحنة ينبعث مع البوزيترون.
- ٩٣ - Neutron :
جسيم أساسى فى نواه الذرة له كتلة مثل كتلة البروتون وليس له شحنة.
- ٩٤ - Neutron Bomb :
تجهيزة يحدث لها انشطار وإندماج وانطلاق إشعاعات نيوترون شديدة القوة وشديدة الخطورة.

٩٥ - Neutron Number :

عدد النيوترونات في انواه، وهو الفرق بين العدد الكتلى Mass Number والرقم الذرى (Atomic Number) والذي هو عدد البروتونات أو الشحنات الموجبة في الذرة.

٩٦ - Neutron Reflector : عاكس النيوترون.

المادة المستخدمة في المفاعل لإنحراف النيوترونات الهاربة من اللب والعودة إلى اللب، يتم ذلك بالتصادمات بين النيوترونات ونويات العاكس (Reflector)

٩٧ - Nuclear Bombardment :

قذف وطرق انواه بجسم متحرك.

٩٨ - Nuclear Disposal Despository :

انشاءات خاصة للتخلص من المخلفات النووية لتجنب السكان أخطار الإشعاع.

٩٩ - Nuclear Energy :

الطاقة المنطلقة عند إنشطار نواه الذرة أو عند إندماج نويتين.

١٠٠ - Nuclear Excitation Energy :

الفرق في الطاقة بين حالة الإثارة للنواة وحالة همودها.

١٠١ - Nuclear Fission :

إنشطار النواه (ذات Z عالية) إلى أجزاء نويات (ذات Z منخفضة) مع انطلاق طاقة، بمساعدة مقذوف.

١٠٢ - Nuclear Force :

قوى الجذب بين إثنين من النويات (2 Nucleaons).

١٠٣ - Nuclear Fule Pellets : قذائف الوقود النووى

وحدات اسطوانية صغيرة من أكسيد اليورانيوم، بقطر حوالى ¼ بوصة وطول ½ بوصة التى تشكل الوقود المستخدم فى محطة الطاقة النووية.

١٠٤ - Nuclear Fule Rods :

قضبان بطول ١٢ إلى ١٤ قدم التى تحتوى كرات Pellets الوقود.

١٠٥ - Nuclear Fusion :

الاندماج المطلق للطاقة (Exoergic Joining) للنويات الخفيفة لتكوين نواه أثقل عند درجة الحرارة العالية.

١٠٦ - Nuclear Genetic Effects :

التأثيرات الضارة للإشعاعات النووية التى تؤدى إلى التغير فى الصفات الوراثية وتؤثر على النسل (Off- Springs).

- ١٠٧- Nuclear Isomerism : التجازئ النووى.
- ظاهرة النويات ذات نفس الرقم الذرى (Z) والرقم الكتلى (A). ولكن توجد فى حالات طاقة مختلفة، كما تختلف من حيث الترتيب والخصائص.
- ١٠٨- Nuclear Isomers : المتجازئ النووى.
- نويات ذات نفس الأعداد للبروتونات والنيوترونات ولكن قادرة على الوجود لوقت مقاس، فى مستويات طاقة مختلفة.
- ١٠٩- Nuclear Magneton : وحدة العزم المغناطيسى النووية.
- وحدة العزم النووى المغناطيسى تساوى (eh / 4 II mpc).
- ١١٠- Nuclear Power :
- الكهرباء المتولدة بالتفاعل النووى (الانشطار).
- ١١١- Nuclear Propulsion : الدفع النووى.
- استخدام الطاقة النووية للدفع (الغواصات، الطائرات، .. الخ).
- ١١٢- Nuclear Reaction :
- العملية التى فيها تتفاعل النواه مع نواه أخرى، جسيم عنصرى، أو كم ضوئى، لإنتاج فى زمن قدرة 10^{-12} ثانية أو أقل واحد أو أكثر من نويات اخرى واحتمال جسيمات أخرى.
- ١١٣- Nuclear Reprocessing Plant :
- التجهيزات حيث يتم إستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم من قضبان الوقود العادم لاعادة استخداكمه ثانيا كوقود.
- ١١٤- Nuclear Somatic Effects : التأثيرات النووية الجسدية.
- التأثيرات الضارة للإشعاعات النووية على أنسجة الجسم.
- ١١٥- Nuclear Waste :
- المادة التىهى منتج ثانوى من عملية استخلاص الخام من المنجم، من إنتاج الطاقة الكهربائية فى المفاعلات ، تصنيع المواد الحربية، تحضير العقاقير النووية.
- ١١٦- Nucleon :
- الاسم العادى للجسيمات النووية، البروتون والنيوترون.
- ١١٧- Nuclide :
- الاسم العادى لأكثر من ١٣٠٠ نوع معروف من الذرات التى تتصف بعدد البروتونات والنيوترونات فى النواه.

١١٨ - Nucleus :

المنطقة المركزية للذرة، صغيرة جدا مقارنة بالحجم الكلى للذرة، حيث فيها يتركز كل الكتلة والشحنة الموجبة للذرة.

١١٩ - Odd - Even Nuclie :

نويات فردية زوجية : فردية البروتونات زوجية النيوترونات.

١٢٠ - Even - Odd - Rules :

موجز لتأثير زوجية النيومليون (البروتون أو النيوترون)، الاستقرار النووي هو دلالة للزوجية للنواة كما هو متوقع بنموذج الغلاف للنواة.

١٢١ - Packing fraction :

نسبة الفرق بين الكتلة النظرية والرقم الكتلى إلى الرقم الكتلى للنوية $F = \frac{M - A}{A}$

١٢٢ - Photo Disintegration :

تفاعل الكم الضوئى على الطاقة مع النواة، يتم امتصاص الكم الضوئى، ثم يتم قذف نيوترون، بروتون، أو جسيم ألفا من الذرة المثارة.

١٢٣ - Photo Fission :

إنشطار النوية بفعل أشعة جاما عالية الطاقة.

١٢٤ - photon :

كم الاشعاع الكهرومغناطيسى، الكم المثل لجسيم القوة الكهرومغناطيسية.

١٢٥ - Pile :

التنظيم الشبة شبكى للمهدئ والوقود فى المفاعل النووى.

١٢٦ - Positron :

الجسيم الحامل للشحنة الموجبة له نفس الكتلة ومقدار الشحنة الإليكترون.

١٢٧ - Positron Decay :

شكل النشاط الاشعاعى حيث البروتون فى النواة يتحول إلى نيوترون مع انبعاث بوزيترون ونيوترون (Neutron) والذى هو جسيم ليس له وزن أو شحنة ينبعث مع البوزيترون.

١٢٨ - Power Reactor :

المفاعل المستخدم لتوليد الكهرباء باستخدام الحرارة الناتجة فى عملية الانشطار لإنتاج البخار.

١٢٩ - Pressurized Water Reactor :

مفاعل الماء الخفيف حيث مياه التبريد يتم ضغطها لمنع حدوث الغليان. الحرارة من ماء التبريد يتم انتقالها إلى ماء ذو ضغط أقل في نظام ثانى. الماء فى النظام الثانى عندئذ يغلى ، منتجا بخار الذى يدير التربين.

١٣٠ - Proton :

الجسيم الأساسى من مكونات الذرة (نواة الذرة) والذى له شحنة موجبة تساوى فى مقدارها الشحنة السالبة للإلكترون.

١٣١ - Presasurized Water Reactor : PWR

مفاعل الماء المضغوط.

١٣٢ - QOF Nuclear Reaction :

طاقة التفاعل النووى يرمز لها بالرمز Q ، يمكن أن تكون موجبة أو سالبة.

١٣٣ - Quantum :

أصغر مقدار من الطاقة يمكن أن يوجد مستقلا (الكم) وحدة منفصلة أو مجموعة من الكميات. الطاقة يتم تبادلها بين إثنيين من الجسيمات عند مستوى ذرى فقط فى كميات كمية.

In Quatum Amounts

١٣٤ - Rad :

كمية الاشعاع الممتص من أى نوع والذى يخلف (يرسب) ١٠٠ إرج فى كل جرام من المادة.

١٣٥ - Radiation :

الجسيمات السريعة والموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة من مركز (النواه) الذرة أثناء التحلل الاشعاعى.

١٣٦ - Radiation Chemistry :

دراسة التغيرات الكيميائية التى بدأت تعمل (Initiated) بواسطة الاشعاعات مثل المواد المشعة.

١٣٧ - Radiation Monitoring : الرصد الاشعاعى.

مراجعة جرعات الاشعاع التى يستقبلها الشخص ، وقياس كثافة الاشعاع فى أماكن مختلفة التى يوجد فيها السكان ، وهذا جزء من عمل أطباء الصحة العامة.

١٣٨ - Radiation Sickness :

المرض الذى يعانى به المرضى بفعل المعالجة الكثيفة بأشعة إكس أو الراديوم (Radium)،
المرض المزمن (Ailments) بسبب الاشعاعات النووية.

١٣٩ - Radioactivity :

انطلاق طاقة إشعاعية فى شكل جسيمات وأشعة بفعل تحلل نواه الذرة.

١٤٠ - Radioisotopes :

ذرات العنصر التى لها نفس عدد البروتونات وعدد مختلف من النيوترونات التى تبعث
إشعاع مؤين عند تحليلها.

١٤١ - Radiosotope Generator :

التجهيز الذى يولد كميات صغيرة من الكهرباء مستخدماً الحرارة المنتجة بواسطة النظائر
المشعة. Pu-238 ، Sr-90 يقوموا بهذا الغرض.

١٤٢ - Radiological Warfare :

استخدام النظائر المشعة كمواد سامة وضارة لتلوث أرض العدو بما يسبب أخطاراً للسكان
على أرض العدو.

١٤٣ - Radiolysis :

العملية التى فيها يتم رفع الجزيء إلى الحالة المثارة، تأينة، إنشطاره إلى شظايا مثل
الشق الحر (Free Radicals) بالإشعاع.

١٤٤ - Range :

المسافة التى خلالها تكون القوة مؤثرة.

١٤٥ - Reactor Containment Building :

المنشأ المصنوع من الصلب - الخرسانة المسلحة الذى يحتوى المفاعل النووى. يصمم لمنع
هروب المادة المشعة إلى البيئة.

١٤٦ - Reactor Core :

الجزء المركزى للمفاعل النووى الذى يحتوى قضبان الوقود، المهدئ، قضبان التحكم. فى
القلب يحدث التفاعل النووى وتتولد الحرارة.

١٤٧ - Reactor Decommissioning :

عملية أخذ المفاعل النووى خارج الاستخدام وتأمين التخلص منه بعد نهاية عمره فى
الخدمة.

١٤٨ - Reactor Fuel :

المادة التى تحتوى النظير الانشطارى ، مكوناتها يمكن أن تتراوح من اليورانيوم الطبيعى إلى مادة عالية الاخصاب فى U-235 ، Pu-239 أو U-233 .

١٤٩ - Reactor Fuel Assembly :

المنشأ المكون من حوالى ٢٤٠ قضب وقود، التى تحتوى على حبات اليورانيوم (Pellets). تجهيزات الوقود هذه توضع فى قلب المفاعل.

١٥٠ - Reactor Safety System :

الطريقة والمعدة المصممة لتجنب الحوادث فى عمليات المفاعل.

١٥١ - RBE -Relative Biological Effects :

مصطلح يستخدم للتعبير عن جرعة الإشعاع ، وهو النسبة ما بين الجرعة بالراد (Rads) لإشعاع بطاقة معينة الجرعة لإشعاع معطى منتجا نفس التأثير البيولوجى ، حيث :

$$RBE \text{ dose (rems)} = \text{dose (rads)} \times RBE$$

١٥٢ - Rem, radiation Equivalent man :

مجموع الراد (Rad) ومعامل النوعية (Qf) المحدد لنوع معين من الاشعاع طبقا لزمان العمر (LET) ، وحدة الجرعة الممتصة للأشعة المؤينة.

١٥٣ - Research Reactor :

واحد من مفاعلات الطاقة المنخفضة أو المتوسطة المخصص أساسا كمصدر للنيوترونات وأشعة جاما فى أغراض الأبحاث.

١٥٤ - Roentgen (r) :

تلك الكمية من اشعاع إكس أو جاما التى سوف تنتج ، فى ٠,٠٠١٢٩٣ جرام من الهواء ، واحد شحنة كهربية (esu) بأى علامة. هذه الكمية من الشحنة تساوى 2.1×10^9 زوجين من الأيون.

١٥٥ - Rossi Curve :

منحنى تم الحصول عليه بتوقيع وابل من الأشعة الكونية ملاحظ فى وقت معين مع كل سمك من الرصاص.

١٥٦ - Scattering :

تفاعل جسيمين حيث فيه يعيد إرتدادا كل منهما الآخر (كما فى حالة كرات البلياردو) أو خلق جسيمات جديدة.

١٥٧ - Scintillation counter :

التجهيز الذى فيه يتكون الكم الضوئى بسقوط الاشعاع والتى يتم عندئذ جمعها وقياسها.

١٥٨ - Secular Equilibrium :

حالة محددة من الإتزان الاشعاعى الذى فيه يكون نصف العمر الأب أكبر مرات عديدة من نصف العمر للإبنه.

١٥٩ - SGHWR :

مفاعل الماء الثقيل لتوليد البخار.

١٦٠ - Shielding :

المادة المستخدمة لحماية السكان والكائنات الحية .لآخرى من إشعاع التأين.

١٦١ - Spent Fuel :

وقود اليورانيوم الذى استخدم وتمت إزالته من المفاعل.

١٦٢ - Spontaneous Fission :

إنشطار نويات ثقيلة معينة بمجرد تكوينها بدون أى إستمالة أو إثارة (Inducement).

١٦٣ - Subatomic Particle :

الجسم الأصغر من أصغر ذرة.

١٦٤ - Ternary Fission :

انشطار النواه الثقيلة إلى ثلاث نويات . هذا النوع من الإنشطار هو واحد فى كل ٤٠٠ عملات إنشطار.

١٦٥ - Thermal Neutrons : (النيوترونات الحرارية) :

النيوترونات حيث متوسط طاقتها تساوى متوسط الطاقة الحركية للجزيئات عند درجة حرارة الغرفة ، الطاقة لهذه النيوترونات لها توزيع ماكس وليمان (Maxwellian Distribution).

١٦٦ - Thermal Reactor :

المفاعل الذى فيه معظم تفاعلات الانشطار تكون يسبب إمتصاص النيوترونات البطيئة (حرارية).

١٦٧ - Thermonuclear Match :

كفاعل الانشطار بهدف إمداد الطاقة الحرارية الضرورية لبدء تحفيز (Initiate) تفاعل الاندماج فى مفاعلات خاصة وهذا مازال فى مرحلة التجارب.

١٦٨ - Thermonuclear Reaction :

التفاعلات النووية التي تحدث في التصادمات بين نويات عنصر خفيف حيث طاقتهم الحرارية تكون كبيرة بما يكفي للسماح باختراق حاجز كولومب.

١٦٩ - Thermordio Activity :

إنطلاق حرارة من المواد المشعة.

١٧٠ - Transient Equilibrium :

مثل الإتزان العامي (Secular) في أن نصف العمر للأب أكبر من نصف العمر للإبنة ولكنه يختلف عن الأتزان العامي في أن أنصاف العمر تختلف فقط بعامل صغير (حوالي عشرة أضعاف) وليس بعامل كبير (410 أو أكبر).

١٧١ - Transmutation :

العملية التي فيها يتحول أحد العناصر إلى عنصر آخر.

١٧٢ - Tritium : هيدروجين - ٣

١٧٣ - Triton

نواة ${}^3_1\text{H}$ ، تريتيوم موجب الشحنة

١٧٤ - Transuranium Elements :

العناصر ذات أرقام ذرية أكبر من ٩٢ (اليورانيوم).

١٧٥ - (u) Unified Mass Unit :

الوحدة التي تعبر عن الأرقام الكتلية المبني على مقياس قياس للكربون - ١٢ , 1U هو ١ : ١٢ من كتلة ذرة C-12 متعادلة وغير مثارة تساوي 1.66043×10^{-24} إرج.

١٧٦ - Unstable Isotopas :

النظائر التي تتغير فورا بالتحلل الإشعاعي.

١٧٧ - Uranium Enrichment :

العملية التي تزيد نسبة نظير U-235 في وقود اليورانيوم من أقل من ١٪ إلى ٣٪.

١٧٨ - Uranium Graphite Pile :

اسم آخر للمفاعل الذي فيه اليورانيوم هو الوقود والجرافيت هو المهدئ .

١٧٩ - Yellow Cake :

مسحوق أصفر يحتوى معظمه على اليورانيوم يتم الحصول عليه من طحن اليورانيوم.

١٨٠ - Zircaloy :

سبيكة قوية من الزركونيوم والقصدير تستخدم لعمل قضبان الوقود في محطة الطاقة النووية.

ملحق (ب)

معاملات التحويل : Conersion Factors

للحصول على	في	إضراب
كيلو جرام / سم ^٢	1.01922	بار (Bars)
باسكالز (نيوتنز / المتر المربع)	10^5	بار (Bars)
Joules	1055.05585	BTU,S
كيلوات ساعة	0.000293	BTU,S
كيلو كالوري	0.252	BTU
(H) Horsepower	1.419	BTU / sec
Joulesper Gram	2.326	BTU / pound
Electron Charges	6.2415×10^{18}	Coulombs
Foules	1.602177×10^{-19}	Electronvolts (ev)
Volts	300	Electrostatic unit
		Ofpotential
Joules	10^{-7}	Ergs
Calories	2.38846×10^{-8}	Ergs
Megaelectron Volts-mev	6.241506×10^{-5}	Ergs
Watts	10^{-7}	Ergs / sec
Coulombs	96485.31	Faradqus
Calories	0.2388	Joules (Watts-sec)
Ergs	10^7	Joules
Electron Volts (ev)	6.241506×10^{18}	Joules
Gram Calories	0.23892	Joules
Kilowatt-hour	2.77778×10^{-7}	Joules
Megaelectron Volts (Mev)	6.241506×10^{12}	Joules
Electron Volts	4.3393	Kilo calorie/Mole
Electron Volts	1.03642×10^{-2}	Kilomoules/Mole

جول = وحد قياس الطاقة = ١٠ مليون إرج.

إرج = وحدة الشغل المطلقة في النظام المتري = دايين سم.

للحصول على	في	إضراب
BTU	105	Therms
Megajoules	105.506	Therms
Bthu	3967.09	Thermies
Megajoules	4.1855	Thermies
Etgs/sec	10^7	Watts (Joules/sec)
BTU/Hour	3.41214	Watts
HP	0.001341	Watts
Gramme Calorie/Hour	860.1123	Watts
Ergs	10^7	Watt seconds
Joules	1	Watt seconds

معاملات التحويل:

$$1 \text{ Mev} = 1.6020 \times 10^{-6} \text{ إرج} = 16.012 \times 10^{-14} \text{ جول}$$

$$1 \text{ ev} = 1.6020 \times 10^{-12} \text{ إرج}$$

$$6.242 \times 10^5 \text{ Mev} = 1 \text{ erg}$$

$$23.045 \text{ إرج} = 1 \text{ cal per Molecule}$$

$$1.66032 \times 10^{-24} \text{ g} = 1 \text{ amu (C}^{12}\text{ scale)}$$

$$3.15581 \times 10^7 \text{ ثانية} = 1 \text{ سنة}$$

$$10^{-13} \text{ cm} = 1 \text{ fermi}$$

$$10^{-24} \text{ cm} = 1 \text{ barn}$$

$$3.7 \times 10^{10} \text{ تحلل في الثانية} = 1 \text{ curie}$$

خواص الاليكترون، البروتون، النيوترون.

الدوران الحقيقي / ثانية	الكتلة	الشحنة $E = 4.8028 \times 10^{-10}$ esu $= 1.60210 \times 10^{-19}$ coulomb	المعايير الجسيم
$\frac{1}{2}$	$M = 9.1091 \times 10^{-28} \text{ g}$ $= 5.48597 \text{ amu}$	-e	إليكترون
$\frac{1}{2}$	$= 1.008145 \text{ amu}$ $M_p = 938.72 \text{ mev}$ (متضمنة كتلة الإليكترون)	+e	بروتون
	$M_n = 1.00882 \text{ amu}$ $= 939.50 \text{ mev}$	صفر	نيوترون

ملحق (ج)

- ١- وحدات الكتلة الذرية (ATOMIC Mass Unit) تختصر (uma) أو u
وهذه تساوى $1.660432 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- ٢- ثابت أفوجادرو (Avogadro Constant).
يساوى 6.022045×10^{23} ذرة فى كل جزئ.
- ٣- Bohr Radii (a.0) $= 5.291672 \times 10^{-11} \text{ متر}$
- ٤- $6.10^{18} \text{ Electrons} = \text{One Coulomb Of Electricity}$
- ٥- $1.38054 \times 10^{-23} \text{ Joules (K) Boltzmann's Constant}$
Per degree (Kelvin) or $8.6167 \times 10^{-5} \text{ electron Volts / degree}$.
- ٦- λ_{ce} Compton Wave Length Of Electron
 $2.426212 \times 10^{-12} \text{ m} =$
- ٧- λ_{cp} Compton Wave Length Of Proton
 $1.321398 \times 10^{-15} =$
- ٨- $6 \times 10^{18} \text{ Electron} = \text{Icoulmb Of Electricity}$
- ٩- Compton Effect = تشتت الفوتونات المرنة بفعل الاليكترونات.
- ١٠- $1.6021892 \times 10^{-19} \text{ Coulomb (e) Electron Charge}$
- ١١- Am pere / sec Coulomb
- ١٢- $\frac{e}{me}$ Electron Charge To Mass Ratio
 $1.7688 \times 10^{11} \text{ coulomb / kg} =$
- ١٣- r_e Electron Radives
 $2.81777 \times 10^{-15} =$
- ١٤- U (amu) Electron Rest Mass
 $5.48597 \times 10^{-4} \text{ (amu) أو } 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} =$
- ١٥- ϵ_0 Electrostatic Constant
 $8.989 \times 10^9 \text{ Newton m}^2 / \text{coulomb}^2 =$

F Farday Constant -١٦

$$96487 \text{ Coulomb / Mole} =$$

Kwtt Kilowatt Hour -١٧

$$2.247 \times 10^{25} \text{ Ev} =$$

Loschid"s Constant -١٨ وهو عدد الجزيئات في واحد سم^٣ من الغاز المثالي

عند المستوى القياسى للضغط والحرارة

$$n = \frac{N_o}{V_o} = 2.68742 \times 10^{19}$$

No- OF molecules In Icm² of ideal gas A T N T P

Mechanical equivalent of Heat - ١٩

$$4.184 \text{ Joules per Calorie} =$$

22.415 Litres V_o Molar Volume - ٢٠

= mn Neutron Restmass -٢١

$$1.67252 \times 10^{-27} \text{ Kg or } 1.0086654 \text{ u (amu)}$$

= m_p Proton Rest Mass - ٢٢

$$1.67252 \times 10^{-27} \text{ Kg or } 1.0072766 \text{ u (amu)}$$

1836.15 = $\frac{m_p}{m_e}$ Proton / Electron Mass Ratio - ٢٣

٢٤ - القوة (Power) تعرف بأنها معدل إنتقال الطاقة (Energy)

$$\text{متوسط القوة} = \frac{\text{الطاقة المنقولة}}{\text{الزمن}}$$

وحدة القوة تسمى الواٳ (W) ومعدل إنتقال الطاقة هو جول في الثانية.

الوحدات الكبيرة تستخدم 1KW = 1000 وات (10³ وات)

1 MW = مليون وات (10⁶ وات).

1 Kev = ألف اليكترون فولت (10^3).

1 Mev = مليون اليكترون فولت (10^6).

1 Gev = مليار اليكترون فولت (10^9).

٢٥ — القوة (Force) هي تلك تغير حالة الجسم من السكون أو من الحركة المنتظمة في

خط مستقيم، بمعنى آخر هو أن القوة تسبب عجلة للجسم (Acceleration) وتعرف

وحدة القوة (F) بالعجلة الناتجة عن عمل قوة على كتلة قدرها واحد كيلو جرام. وحدة

القوة هذه تسمى نيوتن (N). واحد نيوتن هو القوة اللازمة لاعطاء كتلة كيلو جرام واحد

عجلة قدرها متر واحد في الثانية تربيع. وزن كيلو جرام واحد يساوى ٩,٨ نيوتن

ويوجد ١٠ نيوتن (10 N). وبذلك فإن واحد نيوتن يساوى ١٠٠ جرام.

٢٦ — الشغل (Work) = القوة × مسافة التحرك في إتجاه القوة

الوحدة القياسية للشغل تسمى جول (J) وهى الشغل الذى يتم عند نقطة استخدام القوة

بواحد نيوتن (IN) للتحرك خلال متر واحد (m) فى إتجاه القوة.

الوحدات الأكبر المستخدمة هى الكيلو جول (KJ) والميجا جول (MJ).

١ كيلو جول = ١٠٠٠ جول (10^3 J).

١ ميجا جول = ١٠٠٠٠٠٠ جول (10^6 J).

لذلك فإن القاطرة التى تنتج قوة مقدارها (9000 N) لمسافة ٦ متر سيكون

الشغل $5.4 \text{ KJ} = 54000 \text{ J} = 6 \times 9000$

مثال:

ما هو الشغل الذى يقوم به شخص وزنه ٦٥ كيلو جرام ليتسلق سلم بارتفاع ٤ متر.

الحل:

الشغل الذى تم عمله بفرض (g = عجلة الجاذبية = ١٠ متر/ث^٢) هو $4 \times (10 \times 65)$

$2600 \text{ J} =$

٢٧ - الطاقة : أى شئ يمكنه عمل الشغل الذى تم تعريفه سابقا يقال انه يمتلك طاقة ولذلك فإن الطاقة هى القدرة على عمل الشغل.

من الطبيعى أن قياس الطاقة والقوة يتم بنفس الوحدات وهى الجول.

تنقسم الطاقة الميكانيكية إلى نوعين وهما:

طاقة الوضع Potential Energy

الطاقة الحركية Kinetic Energy.

الطاقة لا تفنى ولكنها تنتقل من شكل إلى شكل آخر.

مثال:

إذا كانت كتلة الوزان ٥ كيلو جرام وتم رفعها ٢ متر وعلى فرض أن عجلة الجاذبية $g = 10 \text{ m / sec}^2$ ، ومع استخدام قوة مقدارها $(5 \times 10 \text{ N})$ خلال مسافة مقدارها (2 m) عندئذ فإن الشغل الذى تم عمله ينتقل إلى طاقة وضع فى هذه الأوزان.

لذلك فإن طاقة الوضع = الشغل = القوة \times المسافة $= 5 \times 10 \times 2 \text{ J} = 100 \text{ J}$.

مع هبوط الأوزان ببطئ فإن طاقتها الوضعية تتحول إلى طاقة حركية

الطاقة الحرارية: فى علم الطبيعة تعرف الطاقة بانها الانتقال للطاقة من مكان إلى

آخر بسبب اختلاف درجة الحرارة بينهما. تنتقل الحرارة بثلاث طرق رئيسية وهى التوصيل

(Conduction)، الحمل (Convection)، الإشعاع (Radation).

فى الديناميكا الحرارية حيث العلاقة بين الحرارة والشغل، تستخدم لذلك الرموز

الآتية:

U للطاقة الداخلية، Q للحرارة، W للشغل.

لذلك فإن الطاقة الداخلية لبعض البخار كمثال تمثل بـ U جول، هذه الطاقة

الداخلية يمكن تغييرها بإضافة أو طرح Q بالجول للحرارة. الطاقة الداخلية للبخار يمكن

زيادتها بضغطه أى عمل W بالجول بالشغل عليه، أو أن البخار يسمح له بالتمدد

وانتقال بعض من طاقته الداخلية إلى W جول لشغل مفيد كما فى حالة تشغيل التربين

لتوليد الطاقة الكهربائية.

ملحق (د)

تقسيم النيوترونات :

الاسم	الطاقة	التفاعل الرئيسي	تعليقات
حراري	0.025 ev عند ٢٢ م°	اقتناص	سرعة متوسطة = ٢٢٠٠ متر/ث ماكسويليان توزع الطاقات
متوسط (رنين) (النيوترونات)	0.5 ev- 10 Kev	تشقت لدن واقتناص	الامتصاص يتبع قانون I / v وبيّن ذروة الاقتناص
سريع	0.5 ev- 10 Kev	تشقت لدن	معظم النيوترونات يتم قذفها من النويات بتلك الطاقات
النسبية	20 Mev	التشظي	الكتلة النسبية أكبر كثيراً عن كتلة الثبات

توزيع النويات المستقرة طبقاً للرقم النووي الفردي أو الزوجي : (Odd Or Even) :

A	Z	N	عدد النويدات (Nuclides)
زوجي	فردي	فردي	٤
فردي	فردي	زوجي	٥٠
فردي	زوجي	فردي	٥٥
زوجي	زوجي	زوجي	١٦٥

جدول تجميع النويات وسهولة الإنشطار :

انشطار بواسطة	النظائر المستقرة نسبياً	مكونات النواة	
		بروتونات	نيوترونات
نيوترونات سريعة	$^{232}_{90}\text{Th}$, $^{238}_{92}\text{U}$	زوجي	زوجي
نيوترونات سريعة	$^{231}_{91}\text{Pa}$, $^{237}_{93}\text{Np}$	فردي	زوجي
نيوترونات بطيئة	$^{232}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$	فردي	زوجي
غير معروف	غير مستقر	فردي	فردي

جدول الطاقة المنطلقة في إنشطار بواسطة النيوترونات:

Mev	
167	الطاقة الحركية لشظايا الانشطار
5	الطاقة الحركية لنيوترون الانشطار
5	طاقة الجسيم B
10	طاقة الأشعة جاما (γ)
11	طاقة النيوتريـنو
198	إجمالي الانشطار

ملحق (هـ)

نظام القياسي المتري:

الاسم	الرمز	المعامل
Deci - ديسي	D	$0.1 = 10^{-1}$
Centi - سنتي	C	$0.001 = 10^{-2}$
Milli - ميلي	m	$0.0001 = 10^{-3}$
Micro - ميكرو	u	$0.000001 = 10^{-6}$
Nano - نانو	n	$0.000000001 = 10^{-9}$
Pico - بيكو	P	$0.0000000000001 = 10^{-12}$
Femto - فمتو	F	$0.0000000000000001 = 10^{-15}$
Atto - أتو	A	10^{-18}
Zepto - زبتو	Z	10^{-21}
Yocto - يوكتو	y	Z^{-24}
Deca - ديكا	da	$10 = 10^1$
Hecto - هكتو	h	$100 = 10^2$
Kilo - كيلو	K	$1000 = 10^3$
Mega - ميغا	M	$1000000 = 10^6$
Giga - جيغا	G	10^9
Tetra - تترا	T	10^{12}
Peta - بيتا	P	10^{15}
Exa - إكزا	E	10^{18}
Zeta - زيتا	Z	10^{21}
Yotta - يوتا	y	10^{24}

ملحق (و)

الرموز

Symbols

Erg	e
Electron	$e, e^-, {}^0_1e$
Positron	${}^+e, {}^0_1e$
(Electromagnetic Unit)	emu
Electron Rest mass	ERM
Electroretinogram	ERS
Electron Spin Resonance	ESR
Electrostatic Unit	esu
Electron Volt	ev, ev
Gramme Calorie	g cal
Geiger — Mueller	G/ M
Gram — Molecular Volume	GMV
Mechanical Equivalent & Heat	J
Joule, Joule's Equivalent	J, j
Electric Current Density	J, j
Joule (s) Perkelvin	J/ K
Joules Per Second	J / S
Kilo Electron Volts	Kev
Kilogram — Calorie	kgc
Kilo Joule	KJ
Kiloroentgen	Kr
Kiloruther Ford	Kr
Kilovolt	KV
Kilovolt Ampere	Kva
Kilo Watt Hour	KWH
Wavehength, Decay Constant	λ
Liquid Metal Fast Breeder Reactor	LMFBR
Liquid Metal Reactor	LMR
Electron Rest mass	me
Mega (Million) Electron Votts	Mev

Millivolt	mv
Megavolt - ampere	MVA
Mega Watt	Mw
Roentgen - Equivalent	rem
Man	rem
Mass Number, Proton Number, Atomic	Z
Number, Valence	Z

ملحق (ز) بيان بالعناصر:

العدد الذري Z	الرمز	الاسم	العدد الذري Z	الرمز	الاسم
١	٢	٣	٤	٥	٦
١	H	هيدروجين	٢٨	Ni	نيكل
٢	He	هيليوم	٢٩	Cu	نحاس
٣	Li	ليثيوم	٣٠	Zn	زنك
٤	Be	بيريليوم	٣١	Ga	جاليوم
٥	B	بورون	٣٢	Ge	جيرمانيوم
٦	C	كربون	٣٣	As	زرنيخ
٧	N	نيتروجين	٣٤	Se	سيلينيوم
٨	O	أكسجين	٣٥	Br	بروم
٩	F	فلورين	٣٦	Kr	كريبتون
١٠	Ne	نيون	٣٧	Rb	روبيديوم
١١	Na	صوديوم	٣٨	Sr	إسترونشيوم
١٢	Mg	مغنسيوم	٣٩	Y	تيريم (yttrium)
١٣	Al	ألومنيوم	٤٠	Zr	زركونيوم
١٤	Si	سيليكون	٤١	Nb	نيوبيوم
١٥	P	فوسفور	٤٢	Mo	موليبدينوم
١٦	S	كبريت	٤٣	Tc	تكنيتيوم
١٧	Cl	كلور	٤٤	Ru	روثيريوم
١٨	A	أرجون	٤٥	Rh	روديوم
١٩	K	بوتاسيوم	٤٦	Pb	بالاديوم
٢٠	Ca	كالسيوم	٤٧	Ag	فضة
٢١	Sc	إسكنديام	٤٨	Cd	كادميوم
٢٢	Ti	تيتانيوم	٤٩	In	إنديام
٢٣	V	فاناديوم	٥٠	Sn	قصدير
٢٤	Cr	كروميوم	٥١	Sb	انتيموني
٢٥	Mn	منجنيز	٥٢	Te	تيليريوم
٢٦	Fe	حديد	٥٣	I	اليود
٢٧	Co	كوبالت	٥٤	xe	إكزيتون

العدد الذري Z	الرمز	الاسم	العدد الذري Z	الرمز	الاسم
١	٢	٣	٤	٥	٦
٥٥	Cs	كايزيام-caesium	٨٣	Bi	بيزمت
٥٦	Ba	باريوم	٨٤	Po	بولونيوم
٥٧	La	لانثانم	٨٥	At	أستاتين
٥٨	Ce	سيريوم	٨٦	Rn	رادون
٥٩	Pr	براسيوديميوم	٨٧	Fr	فرانسيوم
٦٠	Nd	نيوديميوم	٨٨	Ra	راديوم
٦١	Pm	بروميثيوم	٨٩	Ac	أكتينيوم
٦٢	Sm	ساماريوم	٩٠	Rh	ثوريوم
٦٣	Eu	إيروبيوم	٩١	Pa	Protactinium
٦٤	Gd	جادوبينيوم	٩٢	U	يورانيوم
٦٥	Td	تريبيوم	٩٣	Np	نبتونيوم
٦٦	Dy	ديسبروزيوم	٩٤	Pu	بلوتونيوم
٦٧	Ho	هولميوم	٩٥	Am	أميريكيوم
٦٨	Er	إربيوم	٩٦	Cm	سيريوم (curium)
٦٩	Tm	ثاليام	٩٧	Bk	بيركليوم
٧٠	Yb	ytterbium	٩٨	Cf	كاليفورنيوم
٧١	Lu	ليوتيتيوم	٩٩	E	Einsteinium
٧٢	Hf	هافنيام	١٠٠	Fm	فيرميوم
٧٣	Ta	تنتالام	١٠١	Mv	مندليفيم
٧٤	W	تنجستن	١٠٢	No	نوبيليوم
٧٥	Re	رينيوم	١٠٣	Lw	لاورنسيوم
٧٦	Os	أوزميوم	١٠٤	Ku	كيرشاتوفيام
٧٧	Ir	إيريديوم	١٠٥	Ha	هاينيام
٧٨	Pt	بلاتين			
٧٩	Au	ذهب			
٨٠	Hg	زئبق			
٨١	Tl	ثاليوم			
٨٢	Pb	رصاص			

محتويات الكتاب

صفحة	الموضوع
٣	المقدمة
	الباب الأول : العلوم النووية
٧	الفصل الأول : البناء الذرى، النظرية الكمية والخاصية الإشعاعية
٣٣	الفصل الثانى : الأبحاث نحو انشطار النواة
٥٩	الفصل الثالث : الأجسام الأساسية ونواة الذرة
٨٧	الفصل الرابع : النظائر
٩٩	الفصل الخامس : الكشف عن الإشعاع وقياس الإشعاع
١٠٥	الفصل السادس : التحولات النووية
١١٧	الفصل السابع : تخليق العناصر
١٢٣	الفصل الثامن : الانشطار النووى والاندماج النووى
١٣١	الفصل التاسع : استخدام العلوم النووية
	الباب الثانى : تطبيقات العلوم النووية
١٤٩	الفصل العاشر : الوقود النووى
١٥٧	الفصل الحادى عشر : المفاعلات النووية
١٧٣	الفصل الثانى عشر : أنواع المفاعلات النووية
١٨٩	الفصل الثالث عشر : توليد الطاقة بالمفاعلات النووية وإعذاب المياه المالحة
٢٠٥	الفصل الرابع عشر : دورة الوقود النووى
٢١٩	الفصل الخامس عشر : الاندماج النووى وإنتاج الماء الثقيل.
٢٢٩	الفصل السادس عشر : الطاقة النووية نعمة أم نقمة.
٢٣٥	الفصل السابع عشر : التلوث الإشعاعى والوقاية منه
٢٤٧	الملاحق

العلم النووية وتطبيقاتها

يهدف نشر هذا الكتاب إلى إثراء المكتبة العربية بالعلوم المعرفية عن الطاقة النووية واستخداماتها وكذلك نشر الوعي العلمي والثقافي في هذا المجال وتعريف الشباب بالجهود التي بذلها العلماء حتى الوصول إلى ما تحقق.

الناشر

Bibliotheca Alexandrina



0655356

ISBN 977-339-240-6



9 789773 392406